

발 간 등 록 번 호

17-1721137-000159-01

RRA-2023-ET-701

2023년도 전자파(EMC, EMF, EMP) 표준화 동향보고서



과학기술정보통신부
국립전자연구원



RAPA 한국전파진흥협회
Korea Radio Promotion Association

CONTENTS

머리말 발간사

전자파인체보호(EMF) 표준화 동향

제1장 NTP+ 한일국제공동연구 3

안영환 교수, 김혜선 박사(아주대학교 의과대학 신경외과학 교실)

제2장 NIR 원칙 및 철학 9

변진규 교수(송실대학교), 최형도 박사(한국전자통신연구원), 백정기 교수(충남대학교)

제3장 전기자동차 무선충전시스템에서 발생하는 저주파수의

자기장 측정방법 17

장건호 선임(한국전파진흥협회), 김우영 주무관(국립전파연구원)

제4장 IEC/IEEE 62209-1528 국가표준 개정안 21

권혁춘 수석(삼성전자 삼성리서치)

제5장 고속 측정시스템을 이용한 전자파흡수율 측정방법 25

하윤정 팀장(㈜에이치시티 전자파안전센터)

제6장 빅데이터 기반 생활전자파 예측기술 개발 32

전양배 팀장(한국과학기술원 조천식모빌리티 대학원)

제7장 RF 방식 무선전력전송 기술 동향 및 인체 영향 연구 41

방진규 박사(한국해양과학기술원)

제8장 광센서 기반 전자파 인체노출량 측정 기술 연구 46

주영준 부장(㈜이레테크 전자파 솔루션2사업부), 홍영표 박사(한국표준과학연구원)

제9장 생활환경 전자파 측정 현황 50

진용화 과장(한국전자파진흥협회)

제10장 2023년 IEC TC106(전자기장의 인체노출) 기술위원회

국제표준 개발 동향 53

오택규 책임(한국정보통신 기술협회)

제11장 제28차 WHO IAC (국제자문위원회) 회의 60

최형도 박사(한국전자통신연구원), 백정기 교수(충남대학교)

제12장 BioEM 2023 참관기 69

김혜선 박사(아주대학교)

CONTENTS

전자파적합성(EMC) 표준화 동향

제1장 국제표준화 위원회 75

임영철 팀장(한국전자진흥협회)

제2장 18 GHz 이상 대역 시험장 평가방법 표준화 동향 80

김정환 기술고문(교정기술원), 이성규 파트장(엘지전자)

제3장 CISPR 11(산업/과학/의료기기의 EMI 규제) 표준화 동향 90

전양배 팀장(한국과학기술원), 안중선 팀장(엘에스일렉트릭)

제4장 ISO 11451-2(차량 방사 내성 시험방법) 표준화 동향 106

나완수 교수(성균관대학교), 김원진 책임(원제뉴인)

제5장 Local wired port의 전류 프로브 측정 재현성 향상을 위한

측정조건 표준화 동향 113

성관영 전문위원(한국화학융합시험연구원)

제6장 GHz 대역 허용기준 산정 모델 표준화 동향 128

권종화 책임(한국전자통신연구원)

제7장 CISPR 32(멀티미디어 전자파적합성-방출 요구 사항) Ed3.0

표준화 동향 141

김근솔 책임(한국로봇산업진흥원)

제8장 IEC 61000-4-41(광대역 방사 내성 시험방법) 표준화 동향 .. 147

금홍식 소장(이앤알 전자파안전 연구소)

CONTENTS

고출력 전자파(EMP) 표준화 동향

제1장 고출력 전자파 관련 IEC TC77 SC77C 표준화 동향 157

권종화 책임, 황창희 책임(한국전자통신연구원)

마무리 글 171

A vertical decorative bar on the left side of the page, composed of a grid of small dots.

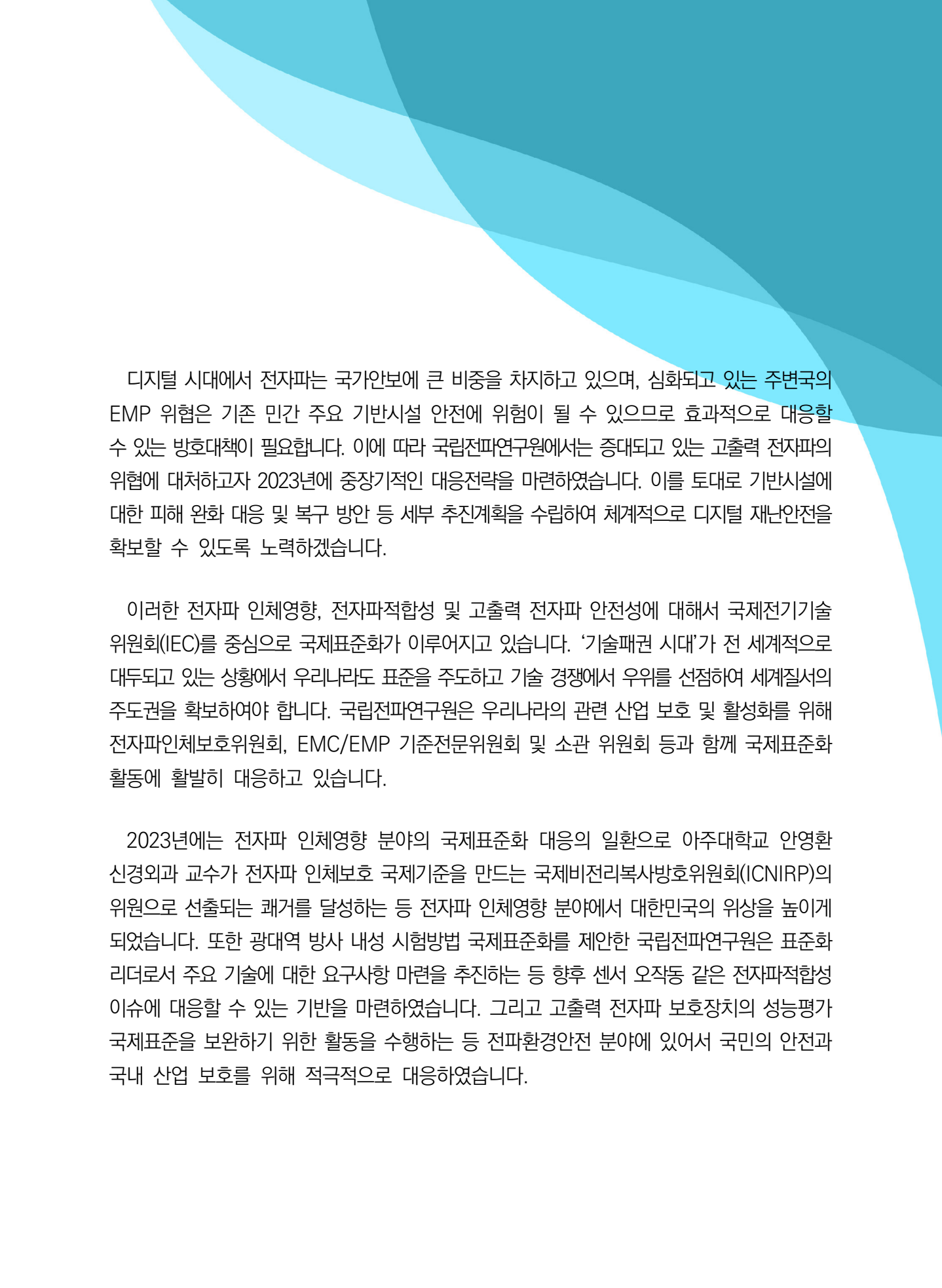
전자파 (EMF, EMC, EMP) 표준화 동향보고서

머리말

지금 우리는 디지털 혁신을 촉진하고 기술주도권을 확보해야 살아남는 기술패권 경쟁 시대의 한가운데에 있습니다. 디지털 혁신을 이끄는 핵심자원인 전자파는 혁신성장의 주요 동력이 되어 새로운 산업의 범위를 확대하고 전파융합산업의 성장을 선도하여 미래 패권경쟁의 판도를 가를 것입니다.

전자파를 기반으로 하는 5G/6G 등 새로운 전파기술의 개발과 다양한 전파 융복합 시설의 도입도 가속화되고 있습니다. 이러한 전파기술 발전에 따라 전파환경이 복잡해지면서 전자파 문제는 디지털 사회 실현에 걸림돌로 작용할 수 있을 만큼 전자파로부터 인체, 기기 그리고 시설을 보호하여 안전한 전자파 환경 속에서 산업 시설이 원활하게 동작하도록 대응하는 것도 기술의 발전 그 이상으로 중요합니다. 통신 시스템이 다변화됨에 따라 광역철도 승강장 안전문 센서 또는 산업 현장에서 사용될 수 있는 기기인 로봇의 오작동 같은 재난안전사고가 발생할 가능성을 생각해볼 때 전자파에 대한 인체보호 및 기기 안전성을 위한 제도 개선과 기술연구 등이 반드시 필요하다고 판단됩니다.

2023년에는 국립전파연구원과 산·학·연 전문가로 구성된 위원회를 통해 전기자동차 무선충전기기에 대한 규제혁신을 추진하여 산업진흥의 발판을 마련함과 동시에 인체 안전과 기기 영향을 개선한 바 있습니다. 이를 위해 국립전파연구원에서는 측정방법, 대상 기자재 및 전자파적합성 고시 등 관련 제도를 마련하여 적용하였습니다. 또한 센서, 로봇 등 기기에 대한 전자파 안전성을 확립하기 위하여 광역철도 승강장 안전문 센서 종합검증 전담반, 첨단로봇 및 이동식 협동로봇 관련 기관과의 협업채널을 구성, 운용하였으며, 이를 통해 2024년에는 센서 내성기준 및 로봇 전자파적합성 시험방법(안)을 마련하여 산업계 등에 제공할 예정입니다. 한편 디지털 첨단기술(AI 등)을 활용한 새로운 평가기술을 개발하기 위해 R&D 사업을 기획하였으며, 본 사업 아래에서 6G 등 미래전파기술에 대한 신뢰성 있는 전자파 인체영향을 측정할 수 있는 알고리즘 및 제도 마련을 2026년 목표로 연구하고 있습니다.



디지털 시대에서 전자파는 국가안보에 큰 비중을 차지하고 있으며, 심화되고 있는 주변국의 EMP 위협은 기존 민간 주요 기반시설 안전에 위협이 될 수 있으므로 효과적으로 대응할 수 있는 방호대책이 필요합니다. 이에 따라 국립전파연구원에서는 증대되고 있는 고출력 전자파의 위협에 대처하고자 2023년에 중장기적인 대응전략을 마련하였습니다. 이를 토대로 기반시설에 대한 피해 완화 대응 및 복구 방안 등 세부 추진계획을 수립하여 체계적으로 디지털 재난안전을 확보할 수 있도록 노력하겠습니다.

이러한 전자파 인체영향, 전자파적합성 및 고출력 전자파 안전성에 대해서 국제전기기술 위원회(IEC)를 중심으로 국제표준화가 이루어지고 있습니다. ‘기술패권 시대’가 전 세계적으로 대두되고 있는 상황에서 우리나라도 표준을 주도하고 기술 경쟁에서 우위를 선점하여 세계질서의 주도권을 확보하여야 합니다. 국립전파연구원은 우리나라의 관련 산업 보호 및 활성화를 위해 전자파인체보호위원회, EMC/EMP 기술표준위원회 및 소관 위원회 등과 함께 국제표준화 활동에 활발히 대응하고 있습니다.

2023년에는 전자파 인체영향 분야의 국제표준화 대응의 일환으로 아주대학교 안영환 신경외과 교수가 전자파 인체보호 국제기준을 만드는 국제비전리복사방호위원회(ICNIRP)의 위원으로 선출되는 쾌거를 달성하는 등 전자파 인체영향 분야에서 대한민국의 위상을 높이게 되었습니다. 또한 광대역 방사 내성 시험방법 국제표준화를 제안한 국립전파연구원은 표준화 리더로서 주요 기술에 대한 요구사항 마련을 추진하는 등 향후 센서 오작동 같은 전자파적합성 이슈에 대응할 수 있는 기반을 마련하였습니다. 그리고 고출력 전자파 보호장치의 성능평가 국제표준을 보완하기 위한 활동을 수행하는 등 전파환경안전 분야에 있어서 국민의 안전과 국내 산업 보호를 위해 적극적으로 대응하였습니다.


많은 산·학·연 전문가분들과 함께 국립전파연구원은 전자파 분야 고시·국가표준 연구, 국제표준화 대응 및 전파환경 조사·분석 등에서 전문성을 확보하고 있으며, 민간에서도 전문성 확보를 위해 적극 지원·노력하고 있습니다.

이번에 발간되는 표준화 동향보고서는 이러한 전문성을 바탕으로 인체, 기기의 전자파 대응에 대한 IEC에서의 주요 표준화 및 국내 연구 동향을 중점적으로 다루었습니다. 이 보고서가 전자파 국제표준화와 주요 이슈에 대한 세계적인 흐름을 엿볼 수 있는 자료로 활용되는 한편, 우리나라 산업을 발전시키고 국민들의 올바른 이해를 돕는데 일조할 수 있기를 기대합니다.

마지막으로 전자파 표준화 동향보고서 발간을 위해 협조하여 주신 전자파인체보호위원회 및 EMC/EMP 기준전문위원회 소속 위원님들과 관계자 여러분께 감사의 말씀을 드립니다. 아울러 국제표준화 대응, 관련 기술연구 개발 및 제도 개선에서도 국립전파연구원과 함께 힘써 나아가 주시기를 당부드립니다.

2023년 12월

과학기술정보통신부 국립전파연구원장 서 성 일

A decorative vertical element on the left side of the page, consisting of a grid of small, light gray dots. The grid is 10 columns wide and 40 rows high, with the last few rows being partially cut off by the bottom edge of the page.

Electro
Magnetic
Field

발간사

정보통신 기술의 혁신적인 개발 속에서 우리의 삶은 더욱 디지털화되고 편리함이 늘어가는 반면 전자파 노출에 대한 우려는 증가하고 있습니다. 이에 전자파인체보호위원회는 과학적 연구와 기술적 혁신을 기반으로 안전한 전자파환경을 조성하기 위한 활동을 지원하고 있습니다. 또한, 국민들이 안심하고 생활할 수 있도록 전자파 인체보호 관련 정책·제도·기술기준을 마련하고 안전한 전자파환경을 이용할 수 있도록 노력하고 있습니다.

전자파인체보호위원회는 전자파 인체영향과 관련된 IEC 국제표준화에 대응을 목적으로 '01년부터 「EMF 인체노출표준 위원회」로 시작하였습니다. 현재는 표준협력, 정책제도, EMF 측정지침, 생활속 전자파, 무선국, WPT-EV, 휴대기기, EMF 용어사전편찬 등 8개의 위원회로 편성되어 운영 중입니다. 전자파 인체보호 관련 정책·제도·기술기준을 마련하고 국민들이 안전한 전자파환경을 이용할 수 있도록 노력하고 있습니다.

본 동향보고서는 산·학·연·관의 전문가로 구성되어 있는 전자파인체보호위원회에서 IEC TC106, IAC(WHO 국제자문위원회), BioEM 등 국제표준화 및 연구 활동과 더불어 휴대전화, 기지국 등 무선통신기기, 생활가전, 무선전력전송 및 전기자동차 등 신기술 관련 전자파 인체노출량 평가 표준 등을 개발과 현황을 기술하고 있습니다.

2023년도에는 코로나 엔데믹 전환으로 인하여 작년보다 적극적으로 WHO IAC, IEC TC106, BioEM 등 국제학회 및 학술행사에 참여하여 국제기준 설립에 대한 국내의견 제시 및 전자파 인체영향 연구, 전자파 인체보호제도 정책제도의 동향을 파악하였고, 국내 연구 현황 및 정책, 표준화와 관련된 주요 이슈가 잘 전달될 수 있도록 활동하였습니다. 또한, 휴대전화 전자파 발암성에 관한 NTP 한·일 공동연구를 진행하였고 고속 측정 시스템 전자파흡수율 측정과 인공지능, 광 센서를 이용한 기지국의 인체노출 연구 등을 통하여 전자파 측정방법의 개선을 위한 연구를 진행하였습니다. 더불어 본 고에서는 국민들의 전자파 인체영향 우려를 고려하여 생활환경 전자파 측정결과 등을 수록하였습니다.

국내 관련 산업의 발전과 국제경쟁력 확보에 도움이 될 수 있도록 활동하는 것이 전자파인체보호위원회의 역할이며, 국민들이 안심하고 생활할 수 있도록 과학적인 근거에 입각하여 올바른 정보전달과 소통을 위해 노력하겠습니다.

본 표준화 동향 보고서를 집필에 도움을 주신 모든 분께 감사의 인사를 올립니다.

2023년 12월
전자파인체보호위원회 위원장 김 남

A vertical decorative bar on the left side of the page, composed of a grid of small, light gray dots. The dots are arranged in 10 columns and 40 rows, with the last few rows being partially cut off by the bottom edge of the page.

Electro Magnetic Compatibility

발간사

현재 우리는 과학기술이 사회 변화의 중심에 있는 세상에 살고 있습니다. 챗GPT, 클로버X 등으로 대변되는 생성형 초거대 AI의 열풍은 전 세계 지식과 기술 발전을 한층 업그레이드하고 있고 인류의 삶과 전 세계 경제·산업에 엄청난 변화를 가져올 것으로 예상하고 있습니다. 미래학자 레이 커즈와일은 AI가 비약적으로 발전해 2045년에 이르면 인간의 지능을 뛰어넘을 것으로 예상하였고, 이 시기, 인류가 닥친 난제도 해결해 줄 것이라고도 전망합니다. AI 분야에서 놀라운 소식이 매일 쏟아지는 지금, 다가올 미래의 과학기술을 주어진 외부 환경으로만 보고 수동적으로만 받아들일 것이 아니라, 우리가 누릴 수 있는 핵심 자산으로 적극 활용해 나가야 합니다.

이런 변화에 대한 전자파적합성(EMC)을 고려한 전자파 기술 측면에서 살펴보면 초거대 AI 기술에서는 새로운 전자파 관련 새로운 기술이 필요하고, 인공지능(AI)을 이용하는 산업 및 서비스가 확산하여 전파환경은 더욱 복잡해지고 열악해지리라는 것을 예측할 수 있습니다. 이에 따라 전자파 간섭이나 기기 또는 시스템이 오동작할 가능성이 더욱 커질 것입니다. 따라서, ICT 융·복합 시설의 전자파 환경을 건전하게 조성하기 위해서는 각 기기로부터 발생하는 불요 전자파를 제한하고, 일정 수준의 외부 전자파 환경에서도 기기들이 안정적으로 동작하도록 관리를 해야 합니다. EMC 측면에서는 이러한 기술변화에 능동적으로 대처하고, 기기들의 적합성을 인증할 수 있는 기술기준을 개발하기 위한 표준화 활동이 중요합니다.

EMC 분야의 국제표준화는 국제전기기술위원회(IEC)와 국제무선장애특별위원회(CISPR)에 회원국들의 전문가로 구성된 각 소위원회에서 전자파를 이용하는 산업의 확산과 신기술 분야의 EMC 문제에 대처하기 위한 EMC 표준을 제·개정하고 있습니다. 국내의 EMC 표준화는 EMC 제도를 주관하는 과학기술정보통신부 국립전파연구원을 주축으로 이루어지고 있습니다. 1989년 국내에 EMC 제도를 도입하였으며, 1997년 산·학·연·관 전문가들로 구성된 EMC 기준전문위원회를 설립하여 국제적인 표준화 활동에 참여하고, 국내 전자파 관련 산업 발전에 부응하고 새로운 기술에 적용할 수 있도록 기술기준 및 시험방법을 제·개정하는 작업을 통하여 표준화 활동을 하고 있습니다. 이러한 활동을 통하여 개발된 기술기준, 연구 결과 및 산업체 의견이 국제표준에 반영될 수 있도록 지속적으로 노력하고 있으며, 관련 국제표준화 동향 및 최신기술 정보를 EMC 관련 기관과 산업체에 보급하고 있습니다.

본 동향 보고서는 2023년도에 국내 EMC 기준전문위원회의 각 소위에서 수행한 EMC 관련 최신의 국제표준화 자료를 수집·분석한 내용과, 국내·외 표준화 활동을 정리한 것입니다. 본 EMC 동향 보고서는 관련 산업체 및 전문가들에게 EMC 표준 분야의 국제적 동향을 파악하도록 도움을 주고 실무적으로 유용하겠다고 생각합니다.

바쁘신 와중에도 조사·분석에 참여해 주신 많은 전문가분, 내용을 감수해 주신 각 소위 위원장님과 국립전파연구원 관계관들의 노고에 감사드립니다.

2023년 12월
EMC 기준전문위원회 위원장 박병권

EMF(전자파인체보호)

제1장 NTP+ 한일국제공동연구

제2장 NIR 원칙 및 철학

제3장 전기자동차 무선충전시스템에서 발생하는 저주파수의 자기장 측정방법

제4장 IEC/IEEE 62209-1528 국가표준 개정안

제5장 고속 측정시스템을 이용한 전자파흡수율 측정방법

제6장 빅데이터 기반 생활전자파 예측기술 개발

제7장 RF 방식 무선전력전송 기술 동향 및 인체 영향 연구

제8장 광센서 기반 전자파 인체노출량 측정 기술 연구

제9장 생활환경 전자파 측정 현황

제10장 2023년 IEC TC106(전자기장의 인체노출) 기술위원회
국제표준 개발 동향

제11장 제28차 WHO IAC (국제자문위원회) 회의

제12장 BioEM 2023 참관기

제1장

NTP+ 한일국제공동연구

안영환 교수,
김혜선 박사
(아주대학교 의과대학
신경외과학 교실)

휴대전화 전자파는 '2B 등급'의 발암성 물질로 2011년 국제암연구소(IARC)가 분류한 바 있다. 그러나 전문가들은 해당 결론의 근거가 충분하지 않다고 판단하고 있다. 암의 원인을 찾고 그 발병률을 낮추기 위해서는 암 발생과 관련한 데이터 분석이 필수적이다. 그러나, 휴대전화 전자파 노출이 사람의 암 발생에 미치는 영향을 사람을 대상으로 직접적으로 평가하는 연구를 수행하는 것은 불가하고, 암 발생부터 진단 또는 치료에 이르는 시점까지의 긴 기간 동안 사람을 대상으로 추적하고 관찰하는 것은 현실적으로 어렵다. 그래서, 휴대전화 전자파의 발암성 여부를 이해하기 위한 동물 실험이 중요하고, 이를 통한 발암성 평가 및 기전 연구가 필요한 것이다.

미국의 NTP (National Toxicology Program)는 휴대전화 전자파의 발암성 동물 연구 결과의 일부를 2016년 최초 공개한 바 있다(Wyde et al., 2016). 그리고 최종 보고서는 세계 전문가의 의견을 수렴하는 절차를 거친 후 2018년에 발표되었다 (NTP, 2018a, 2018b). 이 연구는 수년간의 기획 및 노출 장치 준비 등의 준비기간을 거쳐, 흰쥐(Harlan SD rat)와 생쥐(mouse)를 대상으로 CDMA(Code Division Multiple Access) 및 GSM (Global System for Mobile Communications) 변조 방식의 2G와 3G 휴대전화 전자파를 이용하여 동물 발암성 여부를 평가하는 유례가 없는 대규모로 수행되었다. 생쥐의

경우 1900MHz 대역, 흰쥐의 경우 900MHz 대역의 CDMA와 GSM 전자파를 이용하였다. NTP는 5일(pilot) 및 28일(pre-chronic) 예비 실험을 통해 동물의 체온을 상승시키지 않는 전자파 노출 조건을 찾고 그 근거에 바탕으로 생쥐와 흰쥐에 대한 전자파 노출량을 결정하였다. 생쥐의 경우 0, 2.5, 5, 10W/kg SAR의 전자파를, 흰쥐의 경우 0, 1.5, 3, 6W/kg SAR의 전자파를 전 생애 노출 발암성 노출 실험의 조건으로 선택하였다. 생쥐 연구에서는 생후 5주령 동물을 대상으로 전자파 노출 실험이 실시되었으며 흰쥐의 경우 임신 6일째부터 전자파 노출 실험을 전 생애 기간인 약 2년간 지속하였다.

NTP의 최종 보고서 따르면, 900MHz 주파수 대역 휴대전화 전자파에 노출된 수컷 흰쥐에서는 악성 심장 초종 발생률이 명백한 증거(clear evidence) 수준으로, 뇌 악성 신경 교종 발생률은 다소의 증거(some evidence) 수준으로, 근거 수준이 상향 조정되어 발표된 것이다. 이 결과는 휴대전화 전자파 장기 노출이 인체에 안전하지 않을 수 있다는 근거가 될 수 있다는 점에서 중요하다. 그러나, NTP 연구는 잘 설계된 대규모 연구임에도 불구하고, 보고서가 공개된 이후, 다양한 연구 제한점들이 제기되면서, 연구 결과에 대한 신뢰도가 논란이 되었다. Sham 노출군과 전자파 노출군 이외에 대조군(cage-control)이 없어, 결과 분석에 historical control군을 대조군으로

사용하였고, 노출량 변화에 따른 발암성 변화(dose response)가 확인되지 않았으며 통계적 평가에 대한 제한이 있었다. 특히, 한번 수행된 동물 실험으로 확보된 연구를 통해, 결론을 도출하기에는, 너무 중요하고 심각한 사안이라는 점을 고려할 때, 후속 연구의 필요성은 꾸준히 전문가들에 의해 제기되었다. NTP 연구에 사용된 전자파 노출 장비가 노후화되고, 시료 분석에 수년이 소요되면서 해당 장비는 철거되었기 때문에 동일한 환경에서 추가 실험은 불가능했고, 계획도 없었다. 이런 상황에서 한국과 일본의 연구자들이 이러한 후속 연구의 필요성에 동의하며 NTP 결과 중에서 의미있다고 발표된 중요한 연구 내용들을 검정하기 위해, 제한적인 규모의 국제 연구를 양국이 공동으로 수행하기로 2018년에 최종 합의하면서, 연구가 기획될 수 있게 되었다. 한·일 국제 공동 동물 연구는 2019년에 시작하였고 2023년 12월 종료된다. 한·일 양국은 연구위원회를 구성하여 운영하고 있으며, 매년 2-3회 정도의 위원회 회의를 온라인 또는 오프라인으로 개최하여 현안과 문제점, 연구 경과를 상호 간에 공개하고 논의해 오고 있다. 매년 국제 공동연구의 진행 상황을 점검하고 주요 결정 사항을 논의하기 위해 국제자문위원회를 구성하고, 연구가 수행되는 5년 동안 두 나라의 운영위원회가 교대로 주관하는 자문회의를 정기적으로 개최하였다.

2019년, 한·일 국제 공동 연구 수행을 준비하기 위해 한국에서는 동물연구단(안영환 단장, 아주대의교수)을 구성하였다. 아주대학교 의과대학, 안전성평가연구소(Korea institute of Toxicology, KIT), 한국원자력의학원 등의 기관이 참여하고 KIT를 전자파 발암성 동물 연구 수행 기관으로 선정하였다. 국제 공동 동물 연구를 논의하기 위해 한국 연구위원회(KSC)가 다양한 전문가들로 구성되어 (위원장 안영환 교수), 한·일 공동 연구를 위한 프로토콜

개발을 위해, “Considerations for Japan-Korea joint animal study” 문서 초안을 작성하였다. 한·일 연구 프로토콜 작성을 위한 온라인 및 오프라인 회의가 개최되었고, 2019년 4월에 개최된 제1차 한·일 회의에서 양국의 동물 연구기관이 발표되고, 과제 책임자가 각각 대면하게 되었다. 두 나라의 동물 실험은 한국의 KIT와 일본의 DIMS Institute에서 수행되었고, 실험 환경과 동물 종류 등은 미국 NTP의 기준을 따라 설정되었다. 한·일 공동 연구에서는 900MHz CDMA 전자파를 사용하고 전자파 챔버와 안테나는 동일하게 설치하기로 합의하였다. 2019년 5월에 이화여대에서 개최된 제2차 한·일 연구 회의에서는 전자파 노출 장치 설치 계획과 타임라인 등이 중점적으로 논의되었다. 이어서 2019년 8월에 개최된 제3차 한·일 공동 회의에서는 일본의 화이트리스트 이슈로 발생한 장비 구축 문제가 논의되고, 해결책을 찾아 양국의 전자파 노출 챔버 구축이 비슷한 시기에 완료되었다. 2019년 11월에 페루 리마에서 개최된 제4차 한·일 공동 회의에서는 MOU 초안 작성과 연구 제목에 대한 의견 조율이 이루어졌고, KIT-DIMS의 프로토콜 검토 등이 진행되었다.

2020년, COVID-19 팬데믹으로 인해 대부분의 회의는 온라인 화상 방식으로 진행되었다. 3월에 온라인 개최된 제1차 국제자문위원회 회의에서는 한·일 공동 휴대전화 전자파 발암성 연구의 공식 명칭이 “International Validation Project of the NTP Study on Carcinogenesis of Mobile-Phone Radio-Frequency Radiation”으로 결정되었다. 회의에서는 28일 독성 연구를 위한 연구 프로토콜(standard protocol)의 세부 사항에 대한 논의가 진행되었고, 한·일 연구진이 합의하여 작성한 연구 프로토콜에 따라 실험을 진행하기로 결정되었다. 또한, 한·일 양국의 전자파 노출 장치의 차이 분석과

동물 수입에 대한 논의가 있었다. 또한, 28일 독성 연구에서는 전자파 노출에 따른 체온 변화를 관찰하기로 하였고, 동물의 체온 측정은 생체 이식용 체온 칩 대신 직장 체온계를 이용한 직접 측정법을 사용하기로 결정되었다. 2020년 6월 15일에는 28일 독성 연구를 위한 연구 프로토콜이 완성되었고, 10월에는 2년 발암성 연구를 위한 연구 프로토콜 작성이 시작되었다. 한·일 연구진은, 두 나라에서 독립적으로 수행된 28일 독성 연구에서도 NTP 연구 결과와 같이, 전신 노출 4W/kg 노출 환경에서는 체온 변화가 유발되지 않는다는 소견을 확인하였기 때문에, 온라인 논의를 통해 2년 발암성 연구에서는 동물의 체온 측정이 필요하지 않다는 결론에 도달하였다. 2020년 10월에는 제2차 국제자문 위원회의 화상 회의가 개최되었다. 한국과 일본의 28일 독성 연구의 결과가 발표되었고, 양국의 결과가 높은 유사성을 보였다. 국제자문위원회에서는 2년 발암성 연구의 병리 분석 방법과 통계 분석 방법에 대한 논의가 이루어졌으며, 동물 주문 일정을 일치시키기로 합의되었다. 한국과 일본이 작성한 2년 발암성 연구 프로토콜 초안에 자문위원회의 이의가 없었다.

2021년 3월에 개최된 제1차 KSC 온라인 회의에서 ETRI는 2년 동안의 발암성 노출 실험에서 동물의 자연사가 예상되어 이에 대비하여 전자파 노출값을 계산하고 관리하기 위해 ETRI가 개발한 RFR calculator 프로그램을 사용하기로 하였다. 2021년 3월 8일에는 28일 독성 연구와 2년 발암성 연구 프로토콜을 최종적으로 확정하였다. 프로토콜에 따라, 한국 KIT는 2020년 11월에 2년 연구에 사용할 140마리의 8주령 암수 흰쥐를 수입하였다. 전자파 노출 14주차인 2021년 3월 30일에 유전 독성 분석을 시행하기로 계획하였다. 유전 독성 여부는 뇌, 혈액 시료에서 Comet assay와 Micronucleus assay를

통해 확인하기로 하였다. KIT에서 2년 연구가 수행되던 기간 중인 2021년 3월 29일에 원인 불명의 폐사 동물이 2일間に 걸쳐, 두 마리, 한 마리씩 총 세 마리가 발생하였다. 한국 연구팀은 KSC 회의를 즉시 개최하고, 이 상황에 대한 논의를 통해, 실내 온도 상승에 의한 체온 상승이 가능한 원인으로 추정하고 노출 환경을 점검하고 개선할 수 있는 조치를 취하였다. 그리고, 유전 독성 연구에 필요한 5마리를 확보하게 되면 2년 동물 실험의 개체수 70마리를 확보할 수 없으므로, 유전 독성 연구를 2년 연구를 위한 노출 실험 이후로 미루기로 하였다. 비슷한 시기, 일본에서도 전자파 동물 실험 중 예측하지 못했던 상황이 발생하였고 이에 대한 협의를 위해 한일 공동 회의를 온라인으로 개최하였다. 2021년 4월, 1차 한일 공동 회의에서 한국의 돌발 상황에 대한 협의가 이루어졌다. 이때, 일본은 ceramic grommet 문제 및 전자파 노출 장치 고장을 보고했고, 한국은 동물 폐사로 인한 유전 독성 연구 지연에 대한 논의를 통해 문제를 해결하였다. 그 후 양국의 연구는, 지속적인 공학 및 바이오 팀간 소통을 통하여 원활하게 진행되었다. 국내 운영위원회 회의가 개최된 2021년 9월에 KIT가 전자파 노출군에서의 28일 실험 결과를 발표하였다. KIT의 보고에 의하면, 노출 기간 중, 체온 및 체중 등의 변화가 일시적으로 관찰된 적도 있지만, 그와 관련한 변화는 유의미하지 않다고 하였다.

2022년 1월, 제1차 한국 연구위원회 회의가 개최되었고 KIT는 28일 독성 연구 경과를 보고 하였다. 기관 리뷰 결과에 대한 peer review가 진행 중이며, 일본의 DIMS와 결과를 공유하고 분석 중이라고 보고하였다. 특히 사항이 없어서 조직 병리 슬라이드 교환을 고려하지 않았다고 보고하였다. 2022년 2월 개최된 제3차 국제자문위원회 화상 회의에서 공학 연구진들은 전자파 선량 측정 기술과

관련된 논문을 작성 중이라고 했다. 양국은 각각의 28일 독성 연구 결과와 2년 발암성 연구 진행 상황을 발표하였다. 국제자문위원들은 전자파 노출군의 체중 감소와 사료 섭취량 감소에 관한 의견을 질문하였다. 이에 대해 양국 연구자들은 실험을 통해 얻은 관찰 내용이 유사한 양상을 보이는 점은 국제 공동 연구 환경이 잘 갖추어진 것으로 판단한다고 답변하였다. 2022년 9월에는 제2차 한국 연구위원회 회의에서, 2년 연구가 93주째 순항 중이며, 104주째인 2022년 12월 23일~26일에 부검 예정임을 보고하였다. 양 국가의 생존율은 유사하나, cage control 군의 생존율에 차이가 나타나고 있어 국내 연구진 및 일본 연구진과 추가 연구 필요성에 대한 논의가 필요할 것이라는 의견이 개진되었다. 2022년 9월, 일본의 DIMS 연구소에서 개최된 제2차 한·일 공동 연구 회의에서 일본 팀은 전자파 노출군에서 높은 생존율을 확인하였으며, 체중 측면에서는 전자파 노출군의 체중이 초기에는 낮았으나 시간이 지남에 따라 차이가 감소한 것을 보고하였다. 한국은 92주차 연구 진행 상황을 공유하였고, RF 노출군이 초기에 낮은 체중을 보였지만 중반 이후에는 cage control군과 유사하게 나타났다. 그리고 후반기에는 일본과 비슷하게 전자파 노출군과 sham 노출군의 체중이 비슷해짐을 보고하였다. 두 나라는 28일 독성 연구와 2년 발암성 연구의 논문 작성에 대한 이견이 있어 추가 논의 후 결정하기로 하였다.

국제 공동 연구의 동물 연구 분야의 첫 번째 논문이 2022년 4월 BEMS지에 게재되었다. 이 논문은 한국의 안영환 교수와 일본의 Imaida 교수가 공저자로 안영환 교수가 교신저자인 논문이다. 이 논문에서는 한·일 국제 공동 연구의 기획에서부터 28일 및 2년 연구 프로토콜 작성 과정과 양국이 동의한 연구 조건을 기술하였고 한·일 국제 공동 연구와 미국 NTP 연구와의 차별성도 언급하였다.

특히, 국제 공동연구의 기본 요건 두 가지를 제시한 점이 중요하다. 즉, 동일 장비 사용과 동일 연구 프로토콜을 준비해야 한다는 점이다. 한·일 연구가 진행되면서, 논문에 제안한 두 가지 조건이 충분한지를 확인하게 되었다. 한·일 연구에서, 국제 공동 연구의 조건으로 합당한 연구 과정이 확인된다면, 이번 한·일 공동 연구는 국제 공동 동물 연구의 방향을 제시하는 검증된 지표 연구가 될 것이라는 점에서 의미가 있다.

2년 발암성 연구를 위한 노출 실험이 잘 완료되어, KIT는 2022년 12월 20일부터 23일까지 4일간의 부검을 진행하였다. 2023년 3월, 2년 발암성 연구 내용을 국내운영위원회에서 공유하였다. 2년 발암성 연구에서 cage-control군, sham 노출군 및 전자파 노출군 간의 생존율에 유의미한 차이가 없었다. 전자파 노출군의 생존율은 미국 NTP 연구 결과와 유사한 양상을 보였고, 4W/kg SAR에서의 생존율은 NTP 연구 결과 범위 내에 있었다. 임신 기간 동안, 체중 증가에서 차이가 없었으나, 수유 기간 RF 노출군은 체중과 사료 섭취에서 유의미한 감소가 관찰되었다. 전자파 노출군의 F1 수컷은 초기에 낮은 체중을 보였고, 연구 종료까지 낮은 체중을 유지했다. KIT는 돌발 폐사로 인해 지연되었던 유전 독성 연구를 위해 2023년 3월에 동물을 추가로 수입하여 유전독성 실험을 수행하였다.

2023년 3월 6일, 대전 안전성평가연구소에서 개최된 한·일 공동 회의에서, 한국과 일본은 각국의 cage-control군, sham 노출군, 전자파 노출군의 최종 생존율 관찰 내용 발표를 통해 공유하였다. 한국과 일본의 sham 노출군 생존율은 미국 NTP 연구의 sham 노출군 생존율(28%)과 비교하여 높았다. 한국의 경우, cage-control군과 전자파 노출군이 비슷한 생존율을 보였고 sham 노출군이 조금 낮은 생존율을 보였다. 그러나 일본의 경우 전자파 노출군, sham 노출군, cage-control군 순의

생존율을 보였고 cage-control군의 경우 한국과 비교하여 유의미하게 낮은 수준의 생존율이 관찰되었다. Cage-control군에서 관찰된 낮은 생존율의 원인을 파악해야 한다는 의견이 있었다. 체중에 있어서 한국과 일본 모두 전자파 노출군의 사료 섭취량이 sham 노출군과 비교하여 전자파 노출 초기부터 적었다는 관측이 있었다. 이는 체중 증가 양상과 비슷한 경향을 보였다. 그러나 실험 후기에는 전자파 노출군의 체중이 sham 노출군과 비슷해졌다. 이러한 경향은 한국과 일본에서 유사하게 관찰되었다. 일본의 경우 Comet assay 및 Micronucleus assay를 통한 유전 독성 최종 연구 내용을 공유하였으나 전자파 노출에 의한 영향이 없었다. 2년 연구를 위한 노출 실험 종료 후 후속 연구로, 일본은 6W/kg SAR에서의 RF 노출 효과에 대한 14주간 연구를 진행 중이며, 군당 15마리의 쥐가 할당되었다고 보고하였다. 이 연구의 목적은 6W/kg SAR 노출로 인한 열 스트레스의 잠재적 효과를 확인하는 것이다. 한국은 미뤄진 유전독성 연구를 수행하게 된다고 보고하였다. 2023년 3월 28일, 4차 국제자문위원회 온라인 회의에서는 한국과 일본의 연구진이 각국의 연구 진행 상황을 공유하였다. 한국과 일본 모두 2022년 12월에 전자파 노출 실험이 종료되었다. 한국의 생존율에서는 군간 유의미한 차이가 없었으나 일본의 경우 RF 노출군의 생존율이 다른 군보다 높았고 cage-control 군의 생존율은 미국 NTP 연구의 sham 노출군과 비슷한 수준으로 낮아져 있었다. 따라서 이에 대한 집중적 논의가 진행되었고 원인 규명을 위해 국제자문위원들은 cage-control군 생존율에서 한국과 일본 간의 차이가 발생한 원인에 대한 논의가 필요함을 제안하였다. 또한 동물의 사료 섭취와 생존율의 비교, 양국에서 공급되는 식수의 비교 등을 제안하였다. 국제자문위원회의 위원장은 연구의 중요성으로 인해 결과가 매우 기대된다고 언급하였다.

또한 동일 프로토콜을 사용하는 다수의 실험실 간의 협력 노력을 인정하며 이는 연구 중에 발생이 가능한 정상적인 변동을 식별하고 더 신뢰성 있는 결과를 얻는 데 중요하다고 조언하였다. 2023년 11월 24일에 개최된 제2차 한·일 공동 회의는 나고야 공과 대학에서 진행되었다. 한국과 일본의 바이오 연구진들은 2년 발암성 연구의 진행 상황을 소개하였다. 그리고 양국의 연구 결과를 통합하기 위해 조직병리학적 분석 방법을 일치시키는 과정에 대한 논의를 진행하였고 발암성 평가를 위해 미국 NTP 연구에서 적용했던 4단계의 조직 분석 평가 시스템을 사용하기로 합의하였다. 또한 보고서에서 사용하는 독성학 용어 등의 하모나이즈를 위해 한국과 일본의 추가 협의를 진행하기로 합의하였다. 또한 공학 연구진들 역시 2년간의 전자파 노출량에 관한 측정 결과 발표를 통해 공유하였다. 원본 결과 통합을 위해 한국 연구진이 제안한 양식을 사용하기로 합의하였다. 일본의 이마이다 교수는 2024년 3월에 미국 독성학 회의에서 일본 결과를 발표할 예정이라 밝혔다. 일본은, 과제 종료 이후 관리 책임자에 관한 결정은 미정이라고 하였다. 향후 분석 결과를 공유하는 소통을 지속적으로 유지하기로 합의하였다.

참고문헌

- [1] Wyde M et al, (2016). Report of Partial Findings from the National Toxicology Program Carcinogenesis Studies of Cell Phone Radiofrequency Radiation in Hsd: Sprague Dawley SD Rats (Whole Body Exposure). bioRxiv, 055699.
- [2] National Toxicology Program, Toxicology and Carcinogenesis Studies in B6c3F1/N Mice exposed to Whole-Body Radio

Frequency Radiation at a Frequency (1,900 Mhz) and Modulations (GSM and CDMA) used by Cell Phones. Natl Toxicol Program Tech Rept Series 2018a: 1-260

- [3] National Toxicology Program, Toxicology and Carcinogenesis Studies in Hsd:Sprague Dawley SD Rats Exposed to Whole-body Radio Frequency Radiation at a Frequency (900 Mhz) and Modulations (GSM and CDMA) Used by Cell Phones. Natl Toxicol Program Tech Rept Series 2018b: 1-384.
- [4] Ahn, YH et al, (2022). An International Collaborative Animal Study of the Carcinogenicity of Mobile Phone Radiofrequency Radiation: Considerations for Preparation of a Global Project. Bioelectromagnetics, 43(4), 218-224

제2장

NIR 원칙 및 철학

변진규 교수

(송실대학교)

최형도 박사

(한국전자통신연구원)

백정기 교수

(충남대학교)

제1절 서론

제2절 NIR 방호 기본 철학

제3절 NIR 방호 및 안전의 적용

제4절 결론

제1절 서론

현재 비전리 복사(Non-Ionizing Radiation, NIR) 전체 스펙트럼(EMF, 적외선, 가시광선, 자외선 일부, 그리고 음파(ultrasound 및 infrasound))에 대해 전 세계적으로 통일된 체계적인 방호 체계는 존재하지 않는다. 그 대신 각국의 정부들은 일부 NIR 노출 상황에만 중점을 두고 보호 기준을 유지하고 있으며 이 기준은 국가마다 서로 다르다. 세계보건기구(World Health Organization, WHO)는 NIR로부터 사람들을 보호하기 위한 국제적인 프레임워크(international framework)를 개발하고 있으며 이는 전 세계적으로 일관성 있는 NIR 방호를 촉진하고 그 기반을 구축할 것이다[1]. 이 프레임워크는 수십 년간의 실무 경험을 기반으로 설계되고 있으며 국가의 건강 및 안전 목표를 명확하게 수립하고 그 목표를 달성하는 방법에 대한 지침을 제공할 것으로 기대된다. 이 프레임워크는 또한 NIR 관련 개념을 확립하고 체계적인 접근 방법을 제공해 NIR 관리를 위한 다양한 기관의 활동과 참여를 지원할 예정이다. 특히 이 프레임워크는 새로운 NIR 기술이 빠른 속도로 도입되는 상황에서 효과적으로 국민을 보호해야 하는 정책 수립에도 도움을 줄 수

있다. 본 고에서는 WHO에서 개발하고 있는 NIR 방호 프레임워크의 기본 철학과 원칙에 대해 알아본다.

제2절 NIR 방호 기본 철학

1. NIR 노출 범주와 프레임워크의 기준

NIR 프레임워크의 주요 목표는 다양한 NIR 응용 분야와 발생원에 적용 가능한 일관된 기준을 제공하여 인간 건강을 보호하는 것이다.

다양한 노출 시나리오에 대한 건강 및 안전 목표를 충족시키기 위해 NIR 프레임워크는 NIR 노출을 다음과 같은 세 가지 범주로 나눈다

- 직업인 노출(occupational exposure)은 직업 활동과 연관되어 NIR 발생원을 사용할 때 직업인에게 발생하는 노출이다.
- 의료적 노출(medical exposure)은 의료 치료의 과정에서 환자에게 발생하는 노출이다.
- 일반인 노출(public exposure)은 직업인 노출과 의료적 노출 이외의 모든 사람들에게 적용된다.

NIR 방호의 적용은 확립된 과학적 증거를 기반으로 하지만 건강 영향에 대한 완전한 지식이 없을 때에는 사회 및 경제적 문제까지 고려하여 결정을 내려야 한다.

긍정적 건강 효과와 부정적 건강 효과의 가능성이 동시에 존재하는 경우는 NIR 방호와 안전을 어떻게 다루고 순 건강 이익을 보장하기 위해 노출 제한을 어떻게 적용할지에 대한 균형 잡힌 판단이 필요하다. 예를 들어, 태양 자외선 복사는 피부암의 주요 원인이자 비타민 D의 자연 원천이다. 따라서 햇볕에 과도하게 노출되어 발생하는 피부암의 위험을 줄이면서 충분한 비타민 D 수준을 유지하기 위해 균형 잡힌 판단이 필요하다. 많은 국가들은 가능한 경우 햇볕에 의한 자외선 노출을 줄이고 비타민 D는 음식이나 비타민 보충제를 통해 섭취할 것을 권장한다.

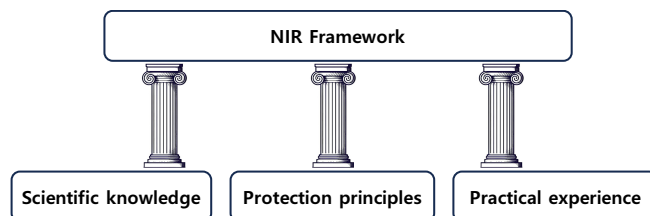
광범위한 사회적 관점에서 보았을 때 NIR 발생원들이 전력 공급, 이동 통신 등을 통한 삶의 질 향상, NIR 의료 기기를 이용한 건강 개선 등과 같은 많은 혜택을 사회에 제공한다는 것은 명백한 사실이다. 그러나 일부 국가들은 특정한 NIR 발생원 및 서비스가 그 사용을 정당화할 만큼 사회나 개인에게 주는 혜택이 없는 것으로 판단하고 있다. 그 예를 들면 소장용 초음파 사진, 장난감에 사용되는 레이저, 인지력 향상 장치, 인공 자외선 썬베드 등이다. 즉 NIR 노출의 영향과 해당 기술이 제공하는 혜택의 전반적인 균형을 고려하여 안전한 제품과 시설을 추구해야 한다.

NIR 프레임워크는 과학적 지식을 기반으로 하지만

실용적 경험도 고려한다. 현재까지 많은 국가의 정부들이 NIR 스펙트럼 일부 영역 방호에 대해 수십 년간 실용적 경험을 쌓아왔다. 예를 들어 유럽 연합 국가들은 90년대 후반부터 일반인을 대상으로 한 전자기장(Electromagnetic Field, EMF) 노출에 관한 규정을 시행하고 있으며, 노동자를 대상으로 한 규정은 10년 이상 시행되고 있지만 현재 야외에서 작업하는 노동자를 태양 자외선으로부터 보호하는 규정은 부족한 상태이다. 각국의 정부는 특정 기술이 한 전문가 집단에서 다른 통제되지 않는 환경으로 확산될 때 발생하는 문제점도 경험을 통해 알고 있다. 예를 들어 레이저가 1960년에 처음으로 시연된 이후 레이저를 사용하는 작업장에서는 통제 조치가 필수적이었으며 이로 인한 부상도 적었다. 그러나 일반인, 특히 어린이를 대상으로 한 휴대용 레이저의 사용이 크게 늘어남에 따라 2011년 이후 레이저로 인해 눈 손상을 입은 어린이들의 사례가 많이 보고되고 있다. 지금까지 살펴본 NIR 프레임워크를 형성하는 3가지의 일관된 기준은 다음과 같다 [그림 2-1].

- 과학적 지식(scientific knowledge)
- 방호 원칙(protection principles)
- 실용적 경험(practical experience)

이 중에서 방호 원칙은 윤리적 고려 사항을 포함하며 NIR 프레임워크의 개발을 촉진한다. NIR 방호 원칙에 대해서는 다음 절에서 보다 자세히 알아본다.



[그림 2-1] NIR 보호 프레임워크의 근간이 되는 세가지 기준 [1]

2. NIR 방호 원칙

NIR 노출로부터의 건강 위험 관리는 NIR의 건강 영향에 대한 현재까지의 이해를 기반으로 한 통일된 원칙에 따라 이루어진다 [2]. NIR 방호 원칙은 다음과 같이 정의된다:

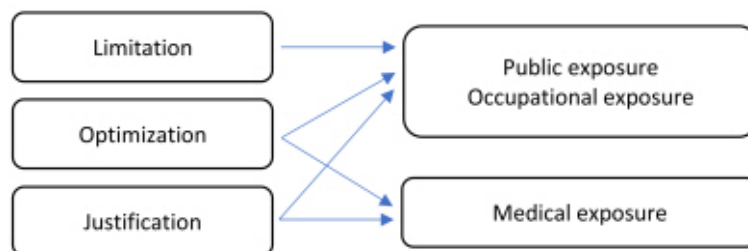
- 위험성 제한(Limitation): 환자의 의료 노출을 제외하고 모든 개인의 NIR 발생원으로부터 노출은 적절한 한도를 초과하면 안된다.
- 시설 및 활동의 정당화(Justification): NIR 노출 상황을 변경하는 모든 결정은 위험보다 이익이 더 큰 경우에만 이루어져야 한다.
- 최적화(Optimization): 위험과 이익을 균형있게 고려해야 한다.

이러한 원칙은 여러 노출 범주에서 다양한 방식으로 적용된다 [그림 2-2]. 또한 NIR 주파수 스펙트럼에 따라 건강 영향에 대한 위험과 이익이 다르기 때문에 NIR 방호 원칙의 적용도 주파수 영역별로 차이가 있다. 이러한 원칙은 이온화 방사선(Ionizing Radiation, IR) 방호에서 시행하는 것과 유사하지만 실제 적용 방법은 최근 ICNIRP (International Commission on NIR Protection, 국제비전리복사방호위원회)에서 설명한 바와 같이 이온화 방사선 방호와는 차이가 있다[2],[3].

윤리적 가치는 제한, 정당화 및 최적화 원칙이 어떻게 고려되고 적용되는지 결정하는데 핵심적인 역할을 한다. NIR 프레임워크는 방호의 목적을 달성하기 위해 다음 네 가지 핵심 가치를 기반으로 내재적 가치 판단을 명확하게 한다:

- 이익과 무해(beneficence and non-maleficence): 해로운 효과를 예방하거나 감소시키는 목적과 직접 관련이 있는 가치이다.
- 신중함과 예방(prudence and precaution): 과학적 증거 및 그와 관련된 불확실성을 지속적으로 고려하여 가치 판단을 촉진한다.
- 정의(justice): 사회적 공평과 공정을 구현하는 결정을 가능하게 한다.
- 존엄성과 평등(dignity and equity): 각 개인이 개인 속성이나 상황에 관계없이 절대적인 존경을 받을 자격이 있다는 것을 의미한다.

NIR 프레임워크는 공공보건의 핵심적인 윤리적 가치[4] 및 이온화 방사선 방호 체계의 핵심적, 절차적 가치[3]와 조화를 이룬다. NIR 프레임워크는 또한 인공 썬베드 사용시 개인의 자유와 규제 사이의 관계, 사회적인 우려 속에서 새로운 무선 기술을 배치하는 문제 등 NIR 방호에서 윤리적 가치의 역할을 인정한다.



[그림 2-2] NIR 방호 원칙과 노출 범주의 관계 [1]

제3절 NIR 방호 및 안전의 적용

자연 및 인공적인 NIR 발생원은 널리 존재하며 정부는 이러한 NIR 발생원으로부터 일반인, 직업인, 환자를 보호하고 NIR 발생원의 안전을 보장해야 한다. NIR 방호는 주로 NIR과 그 영향으로부터의 노출을 관리하는데 주요 목적이 있으며, NIR 안전은 NIR 발생원에 대한 제어를 유지하는 것과 관련이 있다. NIR 방호와 안전은 밀접하게 연결되어 있다. NIR 방호는 해당 NIR 발생원이 제어되는 경우 훨씬 간단해지므로 안전은 필연적으로 방호에 기여한다. NIR의 맥락에서는 위와 같이 NIR 발생원을 제어하여 노출을 관리하는 경우가 가장 일반적인 경우이며, 발생원을 통제할 수 없는 태양의 경우는 건강 위험을 낮추기 위해 추가적으로 다양한 조치를 취해야 한다.

NIR 프레임워크는 NIR 위험을 초래하는 모든 노출 상황에 대처하는 명확한 건강 및 안전 목표를 가진 국가 정책을 추진하도록 정부에게 요청한다. 정책을 수립할 때 정부는 정책의 최대 효과를 얻기 위해 국가, 지역, 사회 및 경제적 도전과제를 식별하고 해결해야 하며, 규제 부담 및 산업에 미치는 영향을 포함하여 정책의 전반적인 영향을 고려해야 한다. NIR 방호 및 안전을 위한 국가 정책은 안전에 대한 장기적인 방향을 표현하는 정부의 의도를 선언하는 것으로 홍보되어야 한다.

NIR 프레임워크는 방호 및 안전의 실행을 책임지는 사람들에게 도움이 되도록 일반 기준과 특정 노출 범주에 대한 기준을 설정한다.

1. 일반 기준

NIR 프레임워크는 일반인 노출, 직업인 노출, 의료적 노출의 세 가지 범주에 모두 적용 가능한 다음과 같은 일반 기준을 설명한다.

- 방호와 안전의 프레임워크 수립
- 방호와 안전에 대한 책임
- 방호와 안전의 관리
- 정보의 제공
- 연구와 과학적 업데이트

가. 방호와 안전의 프레임워크 수립

명확한 근거에 기반한 표준과 기준을 제공하기 위해서는 모든 노출 범주에 대해 일관된 NIR 방호와 안전 프레임워크를 수립하고 유지해야 한다. 그 예로는 일반인 노출, 직업인 노출에 대한 노출 제한과 의료적 노출에 대한 정책 및 조치 등이 있다. 각국의 정부는 이를 달성하기 위해 종종 특정 책임과 기능이 명시된 관련 기관을 설립한다. 이 기관은 소비자가 사용하는 제품이나 의료 기기의 안전 표준, 건강과 안전 목표를 달성하기 위한 준수 요건을 설정하고 적용하는 역할을 수행한다. 또한 이 기관은 NIR 노출이 사회에 제공하는 전반적인 이익을 심사하는 역할을 한다. 정부가 직면하는 어려움 중 하나는 다양한 NIR 발생원과 노출 상황을 감안할 때, 종종 여러 개의 부처에서 NIR 노출 방호와 안전을 담당하는 것이다 (예: 각국의 통신부, 보건부, 환경부, 노동부, 에너지부 등). 이 부처들의 기능을 효과적으로 조율함으로써 국민의 보호와 안전을 위한 공동 목표를 설정하고 불필요한 규제를 줄이는 것이 반드시 필요하다.

정부는 국가 정책 결정에 영향을 미칠 수 있는 다른 이해 관계자들(예: 산업체 및 시민 단체)과 협력하여야 한다. 이를 통해 정보 교환을 가능하게 하고 국가 정책 결정에서 합의 형성과 의사 결정의 투명성을 촉진할 수 있다.

나. 방호와 안전에 대한 책임

NIR 노출을 발생시키는 활동, 또는 서비스를

제공하는 개인 또는 기관은 방호와 안전에 대한 우선적인 책임을 지며 방호 및 안전 프로그램을 수립하고 실행해야 한다. 이 프로그램은 해당 NIR 노출 상황에 적합하며 관련 표준, 규칙 및 규정을 준수해야 한다.

방호와 안전에 대한 책임을 지는 당사자에는 NIR 노출을 발생시키는 제품의 제조업체, 직업인 NIR 노출과 관련된 고용주, 그리고 NIR을 이용한 의료 서비스를 제공하는 의료인과 의료 기관이 포함된다.

다. 방호와 안전의 관리

NIR 노출을 발생시키는 활동, 또는 서비스를 제공하는 당사자는 방호와 안전을 전반적인 경영 시스템에 효과적으로 통합하고, 서비스 또는 제품의 설계 및 사용 단계에서 조직 전체에 안전 문화를 촉진하고 유지해야 한다.

경영 시스템은 필요한 계획과 체계적인 조치를 기술하며 방호와 안전의 강화를 담당하는 책임자들을 지원한다. 책임자들은 경영 시스템과 통일된 프로세스를 사용하여 어떠한 위험과 요구사항에도 NIR 방호와 안전이 저해되지 않도록 보장할 수 있다.

책임자들은 방호와 안전과 관련된 서비스 및 활동에 종사하는 인원이 적절한 교육과 훈련을 받고 자격을 갖추도록 보장해야 한다. 이는 특히 NIR 기반 기술이 지속적으로 발전하고 시장에 빠르게 출시되는 분야에서 매우 중요하다.

NIR 서비스나 활동의 전체 수명주기 동안 경영 시스템의 검토와 평가를 통해 안전을 위한 인력, 장비, 경영 시스템의 좋은 실천 사례와 수정이 필요한 부분을 확인하고 규제 요건과 적용을 변경할 수 있다.

라. 정보의 제공

NIR 노출을 발생시키는 활동, 또는 서비스를 제공하는 개인 또는 기관은 해당 대상군(일반인,

직업인 또는 환자)에게 NIR의 위험과 혜택을 전달하고 필요한 경우 노출 수준, 부정적인 건강 영향 가능성, 그리고 노출 관리를 위해 필요한 조치에 대해 알려야 한다. 이러한 정보는 서로 다른 관심사, 가치관, 교육 및 이해 수준을 가질 가능성이 있는 다양한 대상군을 고려하여 맞춤형으로 제공되어야 한다.

예를 들어, 직업인 노출에 대한 책임자들은 노동자들에게 잠재적인 노출을 제한하기 위해 필요한 정보, 지시사항 및 훈련을 제공해야 한다. NIR을 사용하는 미용 서비스 제공업체들도 교육이 필요할 수 있다. 예를 들어, 인공 자외선 썬베드 서비스 업체의 직원들은 자외선 노출로부터의 건강 위험과 보호 조치의 필요성(예: 보호 안경 착용 및 노출 기간 제한)에 대해 교육받아야 한다. 또한 의료 전문가들도 환자에게 NIR을 이용한 치료의 잠재적 이익, 위험 및 불확실성에 대한 명확한 정보를 제공할 수 있도록 NIR에 대한 교육을 받아야 한다.

인식 개선 프로그램은 대중에게 긍정적인 행동 변화를 촉진하는 데 중요한 역할을 할 수 있다. 몇몇 국가에서는 대중 매체를 이용한 국가적인 피부암 예방 프로그램을 통해 햇볕 노출에 의한 피부암을 줄이는 데 성공했다.

마. 연구와 과학적 업데이트

각 국가의 연구와 국제적인 연구는 새로운 위험을 조기에 발견하고 필요한 지식의 공백을 채우고 건강 정책 목표에 신뢰성 있는 정보를 제공할 수 있도록 촉진 및 지원되어야 한다. NIR 노출로부터 건강 영향을 고려할 때는 효과적인 연구를 위해 다학제적 접근이 필요하다. 생물학, 역학, 의학 분야뿐만 아니라 물리학, 공학, 사회과학 및 공중보건과 같은 다양한 분야의 전문가들이 참여해야 한다. 이는 이 모든 분야가 NIR의 부정적인 건강 영향을 식별하고 방호의

필요성 및 접근 방법에 대한 정보를 제공하는 데 중요한 역할을 하기 때문이다.

NIR 연구는 또한 국가적인 역량을 강화하고 다음 세대 과학 전문가들을 교육하는 플랫폼을 제공한다. 많은 NIR 제품과 서비스가 전 세계적으로 사용되고 있기 때문에 각 나라의 전문가들은 국제적으로 협력할 수 있다. 이를 통해 건강 위험과 실용적인 방호 조치의 효과에 대한 새로운 증거와 과학적 데이터의 세계적인 공유가 가능해진다.

2. 특정 노출 범주에 대한 기준

NIR 프레임워크는 일반인 노출, 직업인 노출, 의료적 노출의 세 가지 범주 간의 차이를 고려한 구체적인 기준을 설명한다.

가. 일반인 노출

NIR 프레임워크는 정부, NIR 관련 제조업체, 공급업체에게 대중 노출에 대한 책임을 할당하는 구체적인 기준을 설정한다. 정부는 규제 및 준수 요건을 설정하는 책임이 있으며, NIR 관련 제조업체와 서비스 공급업체는 안전을 보장해야 한다. 특히 전력망이나 무선 네트워크 등 대규모 시설을 사용하는 서비스 공급업체는 노출 한계가 초과될 수 있는 지역에 대중의 출입을 제한해야 한다. 또 NIR을 이용하는 미용 등 기타 상업 서비스를 제공하는 업체는 고객의 안전을 책임져야 한다.

일부 NIR 제품은 제조 품질만 규제되며 제품의 사용과 관련된 건강 영향은 엄격하게 규제되지 않는 중요한 문제가 있다. 예를 들어 소비자용 레이저 제품은 국제 표준 요구 사항을 완전히 준수할 수 있지만, 레이저의 건강영향에 대해 거의 또는 전혀 인식하지 못하는 소비자들이 사용하는 경우에는 안전하지 않을 수 있으며 이러한 이유로 매년

어린이들을 중심으로 레이저에 의한 안구 손상 사건이 발생하고 있다. 따라서 몇몇 국가에서는 이제 소비자용 레이저 제품을 특정한 레이저 등급으로 제한하고 있지만 개인들이 해당 제품을 수입하는 것을 통제하는 데에는 여전히 어려움을 겪고 있다.

NIR을 사용하는 여러 의료 기기는 공식적으로 허가받은 용도와 다른 용도로 사용되고 있다. 예를 들어 처음에는 건선 등의 피부병 치료에 사용되었던 인공 자외선은 이제 미용이나 웰빙 목적으로 사용되는 인공 썬베드에 사용되고 있다. 이들은 몇 분 안에 매우 높은 자외선에 노출되도록 설계되어 있으며, 이들의 사용은 피부암 발병률 증가와 관련이 있다. 따라서 정책 결정자들 사이에서 인공 썬베드의 사용을 규제하기 위한 움직임이 있었고 각국 정부에서는 인공 썬베드의 사용 제한이나 완전한 금지를 시행하고 있다[5]. 최근 일반인들도 뇌 기능의 치료 및 개선을 위한 의료 기기를 인지력 향상 장치라는 이름으로 사용할 수 있게 되었다. 이러한 기기는 임상 환경 외에서 사용될 경우 규제가 없으며 시장 출시 전 평가를 거치지 않아도 된다. 또한 부작용에 대한 정보 요구 사항이 전혀 없고 기본적인 제품 안전 표준만 만족하면 되므로 주의가 필요하다.

나. 직업인 노출

NIR 프레임워크의 직업인 노출 관련 기준은 대부분의 국가에서 고용주가 안전한 작업 환경을 제공하고 유지하도록 요구하는 정부의 접근 방식과 일치하며 다양한 이해 관계자들에게 책임을 할당하는 구체적인 기준을 설정한다. 첫째, 정부는 직업병이나 다른 부정적인 건강 영향을 방지하기 위해 노동자의 노출 한계를 설정해야 한다. 둘째, 고용주는 노동자의 보호와 안전에 책임이 있으며 보호와 안전이 최적화되고 직업인 노출 한계가 초과되지 않도록 해야 한다. 마지막으로 노동자는 자신의 건강과 안전에

주의를 기울이고 직장 내 건강 및 안전을 개선하기 위한 고용주의 노력에 협력해야 한다.

작업 환경에서 자주 발생하는 태양 자외선 노출은 피부암과 안구 질병을 유발할 수 있다. 따라서 태양 자외선 노출은 작업장의 위험 요소이며 합리적으로 가능한 범위에서 과다 노출의 위험을 줄여야 한다. 고용주는 야외에서 작업하는 노동자의 태양 자외선 과다 노출을 줄이기 위해 안전한 작업 환경을 제공하는 등 적절한 조치를 취하고 건강 조사를 실시하여 노동자를 효과적으로 보호해야 한다. 노동자는 야외에서 안전하게 작업하기 위해 개인 보호 장비를 사용하는 등 작업장의 자외선 차단 정책 및 절차를 따르고 교육 및 훈련에 참여해야 한다.

다. 의료적 노출

지난 몇십 년 동안 다양한 진단 및 치료용 NIR 기술이 개발되어 환자들의 일반적인 건강 개선에 기여했다. 이러한 기술들의 사용이 건강에 불필요한 위험을 수반하지 않도록 하는 것은 중요하다. NIR 프레임워크는 환자를 위한 NIR 방호의 두 가지 핵심적인 원칙으로 정당화(justification)와 최적화(optimization)를 설정한다. NIR 프레임워크는 환자의 의료 노출에 대한 방호와 안전 시스템을 개발하고 유지하기 위해 정부에 책임을 할당하는 구체적인 기준을 제공한다. 의료 전문가 및 의료 기관은 적절한 진료 의뢰가 있는 경우에만 NIR 노출이 일어나도록 해야 하며 모든 NIR 노출이 정당화되고 최적화되었는지를 확인하여 환자의 보호와 안전을 보장해야 한다.

NIR 의료 기기는 종종 이온화 방사선 기기와 비교해 안전하다고 여겨지지만, 유해한 NIR 노출이 발생할 가능성은 존재한다. 초음파 진단, MRI 영상 촬영 등이다. 진단 또는 치료 절차의 맥락에서 NIR 의료 기기의 기계적 또는 열적 생물 효과와 기기의

사양에 대한 의료인의 지식은 환자와 사용자의 안전에 중요하다.

또한, 간병인들의 NIR 노출에 대한 방호 대책도 적절하게 마련되어야 한다. 또 NIR 노출이 발생하는 생체 의학 연구 프로그램을 운영할 경우에는 참여하는 자원자들에게 잠재적인 건강 위험에 대한 명확한 정보가 제공되어야 한다.

▶ 제4절 결론

본 고에서는 WHO에서 개발하고 있는 NIR 프레임워크에서 NIR 노출로부터의 건강을 보호하기 위해 채택하고 있는 기본적인 안전 기준과 방호 철학을 소개하였다. 또 일반인, 직업인, 의료적 노출의 세 가지 범주에 모두 적용 가능한 일반 기준과 노출 범주별 특성을 고려한 특정 노출에 대한 기준을 서술하였다. 이러한 프레임워크는 NIR 노출에서 기존에 규제되지 않는 부분의 안전 공백을 보완하고 각국의 정부가 규정을 마련하는 데 도움을 주고 전 세계적으로 일관된 접근을 촉진할 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (2019-0-00102, 복합전파 환경에서의 국민 건강 보호 기반 구축)

참고문헌

- [1] R. Tinker et al., 'A coherent framework for non-ionising radiation protection',

- Journal of Radiological Protection, Vol. 42, No. 1, 2002.
- [2] ICNIRP 2020, 'Principles for non- ionizing radiation protection', Health Phys., Vol. 118, No. 5, pp. 477-482, 2020.
 - [3] ICRP 2018, 'Ethical foundations of the system of radiological protection. ICRP publication 138', Ann. ICRP, Vol. 47, No. 1, 2018.
 - [4] WHO 2015 Global health ethics key issues.
 - [5] WHO 2017 Artificial tanning devices: public health interventions to manage sunbeds.

제3장

전기자동차 무선충전시스템에서 발생하는 저주파수의 자기장 측정방법

장건호 선임
(한국전파진흥협회)
김우영 주무관
(국립전파연구원)

제1절 서론

제2절 KS C 3380:2020 전기자동차에서 발생하는 저주파수 자기장의 인체노출량 측정방법

제3절 전기자동차 무선충전시스템에서 발생하는 저주파수 자기장의 인체노출량 측정방법

제4절 맺음말

▶ 제1절 서론

최근 전기자동차가 내연기관 자동차를 대체할 수 있는 대안으로 떠오르며 일반 소비자들에게 급속도로 보급되고 있다. 특히, 관련 부품 소자 및 무선충전 기술의 발달로 수 kW 이상의 높은 전력을 수 cm 이상의 거리에서도 90 % 이상의 효율로 전송할 수 있게 되면서 전기자동차 분야의 차세대 충전 방식으로 주목받으며 전기자동차 무선 충전기술에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.

전기자동차 무선 충전 시장 규모는 해마다 증가하고 있으며, 관련 시장을 선점하기 위해서는 전기자동차 무선 충전 인프라에 대한 관련 규정과 표준을 선제적으로 이끌어 나가는 것이 매우 중요하기 때문에 국내외 많은 연구기관이나 단체에서 표준화 작업을 진행 중이다[1].

무선충전 기술은 전기자동차 확산의 핵심 기술이며, 국제전기기술위원회(IEC)에서는 85 kHz를 사용하는 EV 자동차 무선충전시스템에 대한 국제표준서(IEC 61980)를 발간하면서 본격적인 상용화 및 확산을 위한 준비를 하고 있다.

국내에서도 무선충전기기 운영자가 설치 기기별로 허가·검사를 받아야 하는 전파응용설비 대상이므로,

규제로 인한 산업 성장의 제약 요인을 해소하고 모빌리티 산업 활성화를 통한 내 집 앞 충전소 실현을 위해 과학기술정보통신부는 '22년 85 kHz 주파수 대역을 전기차용 무선충전을 위한 주파수로 분배하였다.

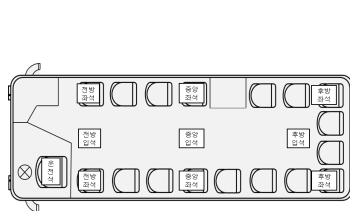
또한, 무선충전시설 설치 부담 완화를 위해 11 kW 이하 전기자동차용 무선충전기기부터 단계적으로 설치 기기별 전파응용설비 허가 제도를 생산자에 대한 기기 인증제도로 전환하기 위한 준비를 하였다.[2] 이에 과학기술정보통신부 국립전파연구원도 무선 전력전송기기의 적합성평가 제도 편입을 위한 「전자파강도 측정방법」 마련 및 「측정대상 기자재」 등의 고시 개정을 추진하였다.



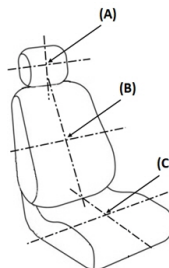
[그림 3-1] 현대자동차 무선충전 시스템 운용 예시

제2절 KS C 3380:2020 전기자동차에서 발생하는 저주파수 자기장의 인체노출량 측정방법

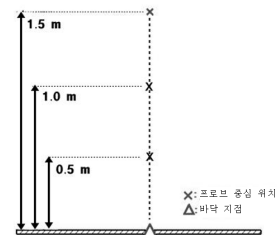
국가표준 KS C 3380[3]은 전기자동차에서 발생하는 저주파수 자기장의 인체노출량 측정방법을 규정하기 위해 2020년 3월에 제정되었다. 적용범위는 전기 에너지를 동력으로 사용하는 자동차(하이브리드, 수소차 포함)의 자기장(10 Hz~400 kHz) 측정방법이며, 무선전력전송 기술을 이용한 충전 상태의 측정은 내용에서 제외되었다. 차량 동작 상태(정속, 가속 주행), 정차 상태에서 측정을 실시하고 충전 상태의 측정 조건은 유선충전 상태에서 측정하도록 규정되어 있다. 그림 3-2와 같이 측정지점은 전기자동차에 사람이 접근 가능한 지점 즉, 차량 내부에서 사람의 승차 조건에 따른 운전석, 조수석을 측정하고 입석 위치도 측정을 실시한다. 차량 외부의 측정 지점은 유선 충전시 사람의 접근을 고려하여 충전 소켓(손잡이 및 케이블 주위)를 측정하도록 규정하고 있다.



(a) 승합자동차의 측정 위치



(b) 좌석의 측정 지점



(c) 입석 위치의 측정 지점

[그림 3-2] 기존 KS C 3380:2020의 주요 측정 지점 및 위치

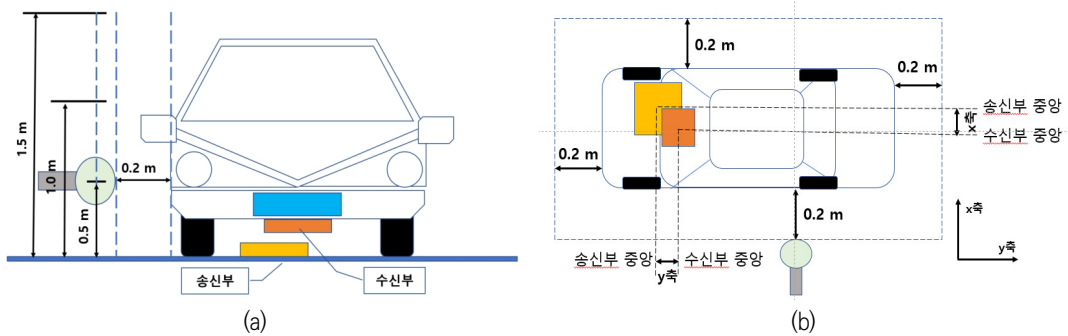
제3절 전기자동차 무선충전시스템에서 발생하는 저주파수 자기장의 인체노출량 측정방법

전기자동차 무선충전시스템에 대한 실증특례에 따른 시급성을 고려하여 85 kHz(출력 : 50 W 이상)의 전기자동차용 무선충전시스템에 대한 측정방법 마련을 위하여 IEC TC106 WG9, IEC 63184 등 국제표준을 분석하고 전자파강도 측정방법 고시 및 KS C 3380 국가표준을 개정하였다[4].

기존 국가표준 제목을 “전기자동차 및 충전 시스템에서 발생하는 저주파수 자기장의 인체노출량 측정 방법”으로 수정하고 그 적용범위를 전기에너지를 동력으로 사용하는 전기자동차의 무선충전시스템과 전원공급장치를 구분·포함하였다.

전기자동차의 무선충전시스템에 대한 전자파인체 노출량 측정을 위해서는 무선충전시스템 충전 가동시, 자동차의 충전상태(SoC), 무선충전시스템 출력(최대), 주변 충전 인프라에 관한 사항 등을 고려하여 인체에 최대로 자기장이 노출될 수 있는 최악조건을 고려하여야 한다.

또한 전원공급장치의 경우 인버터에 인가되는 60 Hz와 무선충전주파수 85 kHz 대역의 신호가 동시 노출되는 상황을 고려하여 모든 주파수를 고려한 총 노출지수로 평가되도록 측정방법을 규정하였다.



[그림 3-3] KS C 3380:2023의 충전 시 자동차 외부에서의 측정 지점

1. 측정 조건

자동차의 크기 및 위치 등에 따라서 출력 및 자기장강도가 달라지는 경우가 발생하기 때문에 최대 노출 조건을 설정하여 측정할 수 있도록 조건을 설정하여야 한다. 특히 무선 충전 시 송수신부 오정렬 상태에서 특정 지점으로 자기장이 최대로 발생할 수 있기 때문에, 송수신부가 정렬된 상태와 충전이 가능한 최대 오정렬 상태에서 각각 측정을 해야 한다.

오정렬 상태에서 송신부와의 정렬 위치 대비 수신부의 벗어난 위치를 그림(x, y 좌표 포함)으로 도식화하여 오정렬 조건을 측정 결과 보고서에 기재해야한다.

전원공급장치도 마찬가지로 이격거리 0.2 m에서 바닥면으로부터 0.5 m 높이에서 사람이 접근 가능한 면을 대상으로 최대 지점을 찾고, 1 m와 1.5 m를 추가 측정한다.

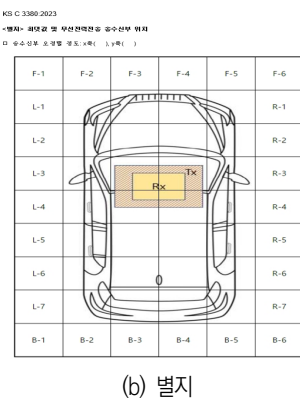
[illegible]

(a) 충전시스템 및 전원공급장치 측정결과 보고서

2. 측정 지점 및 위치

그림 3-3(a)와 같이 전기자동차 및 무선충전 시스템에서 발생하는 자기장이 인체 전선에 노출됨을 고려하여 전기자동차로부터 0.2 m 이격거리의 자기장 최대지점에서 측정위치를 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m의 3점 평균 측정을 실시하도록 규정하였다.

최대 노출지점에서 0.5 m 높이의 측정된 값이 전자파인체보호기준을 초과하지 않는 경우 3점 측정은 하지 않아도 된다.



[그림 3-4] 측정결과 보고서 및 별지

3. 측정결과 보고서

측정결과보고서는 전기자동차와 충전시스템 및 전원공급장치의 측정결과를 구분하여 작성하도록 하였다. 각 측정 결과의 중요값이 잘 명시되도록 수정하였으며, 최댓값이 측정되는 위치 및 무선충전 시스템의 정렬조건 등을 명시하도록 개정하였다. 또한 최댓값 측정지점 및 무선전력전송 송수신부의 오정렬 상태를 한 눈에 확인할 수 있도록 별지의 그림에 표시하도록 하였다.

- [5] 전자파 인체보호기준, 과학기술정보통신부 고시
- [6] 전자파강도 측정기준, 국립전파연구원 고시
- [7] 전자파강도 및 전자파흡수율 측정대상 기자재, 국립전파연구원 고시

제4절 맺음말

본 고에서는 전기자동차 무선충전시스템에서 발생하는 주파수 자기장의 인체노출량 측정방법 개정안에서 다루고 있는 주요 항목 및 기술적 배경에 대해서 설명하였다. 특히, 무선충전시스템의 전자파 최대 노출상태의 측정조건과 측정위치 및 지점에서 측정하도록 규정하였고, 사람의 접근 가능 여부 등을 검토하여 합리적인 측정방법이 되도록 하였다.

향후 본 측정방법을 활용하여 실제 전기자동차 무선충전시스템을 측정하고 결과분석 데이터 검증을 통해 국가표준 평가 방법의 신뢰성을 높일 예정이다.

참고문헌

- [1] 임종균, 이동용, 한국전자통신학회 논문지, v.16 no.2, 2021년, pp.255 - 260
- [2] 과학기술정보통신부, 디지털산업 활력제고 규제 혁신 방안, ('22. 11. 9)
- [3] KS C 3380:2020
- [4] KS C 3380:2023

제4장

IEC/IEEE 62209-1528 국가표준 개정안

권혁준 수석
(삼성전자 삼성리서치)

제1절 IEC/IEEE 62209-1528 국가표준 주요 기술 내용

제2절 맺음말

국내 전자파 인체노출량의 전자파 흡수율(SAR) 평가는 지난 2017년 제정된 KS C 3370-1 (귀에 근접하여 사용하는 휴대용 무선 설비의 전자파 흡수율 측정 절차) 및 KS C 3370-2 (인체에 근접하여 사용하는 휴대용 무선 설비의 전자파 흡수율 측정 절차) 측정방법을 통해 휴대 단말에 대한 전자파 노출량 평가를 진행하고 있다. 한편, 지난 2020년 국제 IEC 표준위원회에서는 새로운 평가 기술을 반영하여 기존 IEC 62209-1과 62209-2 표준을 통합한 IEC/IEEE 62209-1528:2020 국제 표준 제정을 완료하기에 이르렀다. 이에 맞춰 국내도 휴대 단말의 기술 진화 및 측정 기술의 발전을 고려하여 관련 규정의 개정을 검토하고 있으며 지난 2022년 KS C 3370-1 (IEC 62209-1 기반의 국가표준) 및 KS C 3370-2 (IEC 62209-2 기반의 국가표준) 국가표준의 개정 작업 검토 진행을 시작하여 현재 마무리 단계에 있다. 통합 개정된 IEC/IEEE 62209-1528:2020 국제 표준을 기초로 하여 국내 실정에 맞게 부분 수정 (MOD: Modification) 표준으로 개발을 진행 중이다. 본 고에서는 현재 개발 중인 IEC/IEEE 62209-1528 국가표준 개정안에서 다루고 있는 주요 기술 사항을 간략히 살펴보고자 한다.

한편, 국제 IEC 표준위원회는 1906년 설립되었으며 전기, 전자 및 관련 기술에 대한 국제 표준을 다루는

기구이다. 특히, IEC 산하 TC 106 기술위원회는 전자파 인체 노출과 관련하여 저주파 및 고주파 대역의 전자파 노출 평가 방법에 대한 표준을 책임지는 위원회로 0~300MHz의 주파수 대역을 사용하는 휴대단말, 기지국, 무선전력전송기기 등에 대한 전자파 인체노출량 평가 방법에 대한 표준을 개발하고 있으며 유럽 및 미국을 포함한 전세계 대부분 국가에서 IEC에서 개발한 표준을 채택하여 적용 중이다.

▶ 제1절 IEC/IEEE 62209-1528 국가표준 주요 기술 내용

본 장에서는 앞에서 언급한 IEC/IEEE 62209-1528 국가표준 개정안에서 새롭게 도입되는 표준 기술, 신규 용어 정의, 그리고 평가 규정 등을 다루고자 한다. 주요 기술 개정 항목 및 내용 요약은 표 4-1에서 간략히 설명하고 있다.

특히 IEC/IEEE 62209-1528 국가표준 개정안은 전자파 인체노출량의 SAR 평가 대상 기기의 적용 범위를 기존 KS C 3370-1 및 KS C 3370-2 국가표준의 적용 범위였던, “휴대용 무선 통신 기기”에서 “인체에 근접하여 사용하는 무선 통신 기기”로 확대하여 일반화하고 있다. 이는 다양한

제 1 장

제 2 장

제 3 장

제 4 장

제 5 장

제 6 장

제 7 장

제 8 장

제 9 장

제 10 장

제 11 장

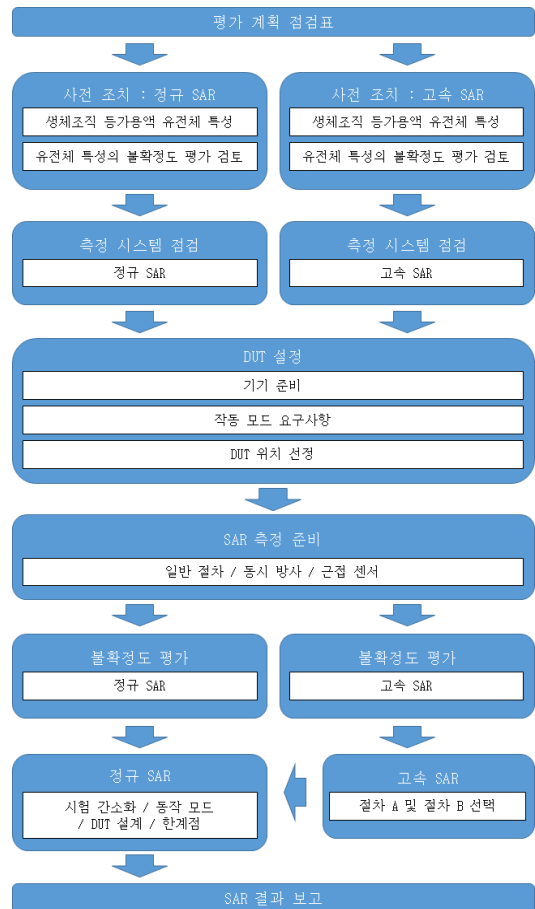
제 12 장

〈표 4-1〉 IEC/IEEE 62209-1528 국가 표준의 주요 개정 항목 및 내용

주요 항목	내용 설명
시간-주기 평균 SAR 평가	휴대기기에 송신 전력 제어 알고리즘이 적용되는 경우, 규정된 일정 시간 동안의 평균 SAR를 기반으로 전자파 인체노출량 평가
근접 센서	전자파 인체노출량 평가 준수를 위해 사용자 접근을 감지하여 휴대기기의 송신 전력을 제어하는 용량형 센서 또는 센서의 조합
이격 거리	휴대기기의 의도된 사용에 대한 전자파 인체노출량 평가를 위해 규정된 휴대 기기와 모의인체 외부 표면 사이의 거리
동시 노출	하나의 휴대기기가 다종의 송신기를 포함하고 다중 노출될 경우에 이에 대한 전자파 인체노출량을 평가하는 방법 및 내용
고속 SAR 기술	정규 SAR 시험보다 측정 시간을 단축시키기 위한 특정 기술, 방법 또는 알고리즘을 적용한 시험 기술

형태의 휴대기기가 시장에 확산됨에 따라 향후 전자파 인체노출량의 SAR 평가의 측정 대상 기기를 구체화하고 본 국가표준 개정안을 활용할 것을 염두에 둔 개발 방향이다.

먼저 국가표준 개정안의 기본 목적을 알아보면 평가장비의 측정불확정도 내에서 인체에 근접하여 사용하는 기기로부터 머리 및 몸통 인체 모델 내에 유도되는 침투공간평균 전자파흡수율 (psSAR) 노출값을 측정할 수 있는 프로토콜과 시험 절차를 규정하는 것을 핵심으로 한다. 또한 위 규정이 적용되는 측정 대상 적용 기기는 인체의 머리 또는 몸통에서 최대 200 mm 거리에서 동작하는 기기로서 적용 주파수 범위는 4 MHz ~ 10 GHz (30MHz~6GHz (기존 국가표준) → 4MHz~10GHz (개정 국가표준)) 확대 적용할 수 있다. 좀 더 상세한 적용 대상 기기 분류로는 무전기, 단일 또는 다중 안테나를 사용하는 휴대전화, 태블릿, 컴퓨터(desktop) 및 노트북(laptop)을 평가할 수 있다. 또한 최근 적용 기술인 인체 근접용 무선전력전송 (6.78MHz 등) 기기 및 WiFi 7 (6~7GHz) 기기 등이 본 표준을 통해 평가 가능하다. 마지막으로 VR (가상현실), AR (증강현실) 등 머리착용형 기기(헬멧형 등)가 시장에 출시되면서 웨어러블기기를 측정할 수 있는 별도의 측정 모의인체도 규정하고



[그림 4-1] 전자파 인체노출량 평가 절차 기본 구성 체계 요약

있어 다양한 형태의 인체에 근접하여 사용하는 기기들의 평가가 가능할 것이다.

더불어 제조사별로 상이하게 적용하였던 몸통 측정 이격 거리를 새롭게 규정하였으며 이에 따라 적용될 근접 센서 적용에 대한 측정 조건을 마련하고 있다. 마지막으로 인체에 근접하여 사용하는 기기의 “의도된 사용”에 대해 아래와 같이 명확한 규정을 제시하여 대상 기기 및 측정 이격 거리를 규정하고 있다.

- 의도된 사용 (Intended use)

기기 제조자가 제공하는 제품 사양, 사용 설명 및 정보에 따라 기기의 모든 가용 기능이 통상적으로 사용되는 조건

그림 4-1은 본 국가표준 개정안의 내용 이해를 높이고자 인체 노출량 평가 절차에 대한 기본 구성 체계 요약을 간략히 도식화하여 보여주고 있으며 이를 통해 세부 시험 및 평가를 수행할 수 있을 것이다.

아래는 앞서 언급한 국가표준 개정안을 통해 적용될 주요 규정에 대해 간략히 소개이다.

1. 이격 거리에 대한 평가 규정

위에 정의된 의도된 사용 규정을 통해 DUT (피시험기기)와 평면형 모의인체 간의 이격 거리는 5mm를 초과할 수 없도록 규정하고 있으며, 제조사가 DUT의 의도된 사용 조건과 방법에 따라 이격 거리가 5mm를 초과할 수 밖에 없는 경우 측정보고서에 이에 대해 상세히 명시하도록 하고 있다. 단, DUT의 구조상 이격 거리를 결정하기 어려운 경우, 국립전파 연구원의 측정 지침 (KSDB 또는 문서 등)을 따르도록 권고하고 있다.

2. 동시 노출에 대한 평가 규정

다중 안테나 또는 다중 송신기를 갖는 DUT의 동시

노출에 대한 평가 규정은 기존 표준대로 크게 아래와 같이 4가지 방법으로 분류하여 규정하고 선택적으로 사용할 수 있도록 권고하고 있다. 다만, 안테나 공급전력이 20mW 이하의 다중 송신기 사용에 따른 동시 노출 평가에 대해서는 추가 논의가 필요한 사항이다.

- 방법 1: psSAR 값 합산 평가

이 방법은 단독 및 동시 송신 모두에 대해 각 송신기 또는 안테나의 최대 출력이 동일한 경우, 보수적인 방식으로 합성 SAR의 상한을 결정하기 위해 적용된다. 합산되는 서로 다른 psSAR 값은 서로 다른 공간 위치에 있을 수 있다. 이 방법은 항상 적용 가능하지만 합성 SAR이 과대 평가될 수 있다.

- 방법 2: 가장 높은 최대 psSAR 값 선택

이 방법은 개별적으로 측정된 정밀 체적분포 측정의 SAR 분포들이 거의 또는 전혀 겹치지 않을 때 합성 SAR의 추정값을 제공할 수 있도록 한다. 그러면 다른 모든 동시 노출 조건의 SAR 분포를 더하였을 때 최댓값들은 각 분포의 최대 psSAR 값의 5 % 이상 증가하지 않을 정도로 공간적으로 분리 되었다고 할 수 있다.

- 방법 3: 체적 SAR 데이터 계산

이 방법은 체적 SAR 데이터 생성을 위해 내삽 및 외삽과 조합을 사용하며 기존의 표면분포 측정 및 정밀 체적분포 측정을 활용하여 합성 SAR을 얻는 빠른 방법이라고 할 수 있다.

- 방법 4: 체적 스캔에 의한 평가

이 방법은 합성 SAR을 평가하는 가장 정확한 방법이며 항상 적용 가능한 방법이다. 동시 송신이 의도된 각 시험 구성에 대한 SAR 데이터를 체적 스캔을 통해 합성할 수 있다.

3. 시간-주기 평균 SAR 평가 규정

시간-주기 전력 제어를 사용하는 DUT의 시간 평균

SAR 평가를 위한 시험 절차를 규정하고 있다. 시간-주기 평균 SAR 평가를 위한 근거를 제시하고 있으며 적용 가능한 시간 평균 주기는 과학기술정보통신부의 전자파인체보호기준의 측정 평균시간을 따르도록 규정하고 있다.

4. 근접 센서를 포함한 SAR 평가 규정

근접 센서의 작동 조건에 따라 두 개의 서로 다른 최대 출력 수준을 적용하는 DUT에 대해 SAR 측정은 두 가지 최대 출력 전력 상태와 시험 거리 조합에서 아래와 같이 수행하도록 하고 있다.

- 센서 미동작 출력(최대 상태 출력): SAR 시험은 센서 동작 최소거리보다 1mm가 더 짧은 이격 거리에서 수행한다. (단, 위의 1mm가 더 짧은 이격 거리가 5mm 미만일 경우에는 적용하지 않는다.)
- 센서 동작 출력(감소된 상태 출력): SAR 시험은 가장 가까운 의도적 사용 거리에서 수행되어야 한다.

5. 기타 평가 지침 규정

국내에서 이미 간소화 적용 되어 있는 무선랜, LTE, 5G 관련 내용은 기존 KSDB에서 정의하고 있는 내용 그대로를 국가표준 개정(안)의 부속서에 담아 규정 유지하고 있다.

대해 간단히 살펴 보았으며 특히, 시간-주기 평균 SAR, 측정 이격 거리의 규정에 따른 사용자 시나리오 정의, 근접 센서 적용 규정, 그리고 동시노출 평가에 대한 부분에 대해 간략히 짚어보았다.

본 국가표준 개정안 개발과 함께 본 표준의 실제 전자파 흡수율 평가를 위한 국내 규정 적용을 위해서는 고시 개정도 반드시 수반되어야 할 필요가 있다. 이의 고시 개정 지원을 위해 국가표준 개정안은 내년 하반기 최종 확정을 목표로 마무리할 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] IEC/IEEE 62209-1528:2020
- [2] KS C 3370-1
- [3] KS C 3370-2
- [4] 전자파 인체보호기준, 과학기술정보통신부 고시
- [5] 전자파흡수율 측정기준, 국립전파연구원 고시
- [6] 전자파강도 및 전자파흡수율 측정대상 기자재, 국립전파연구원 고시

제2절 맺음말

본 고에서는 전자파 인체노출량의 SAR 평가와 관련하여 IEC/IEEE 62209-1528 국가 표준 개정안에서 다루고 있는 주요 개정 항목 및 규정에

제5장

고속 측정시스템을 이용한 전자파흡수율 측정방법

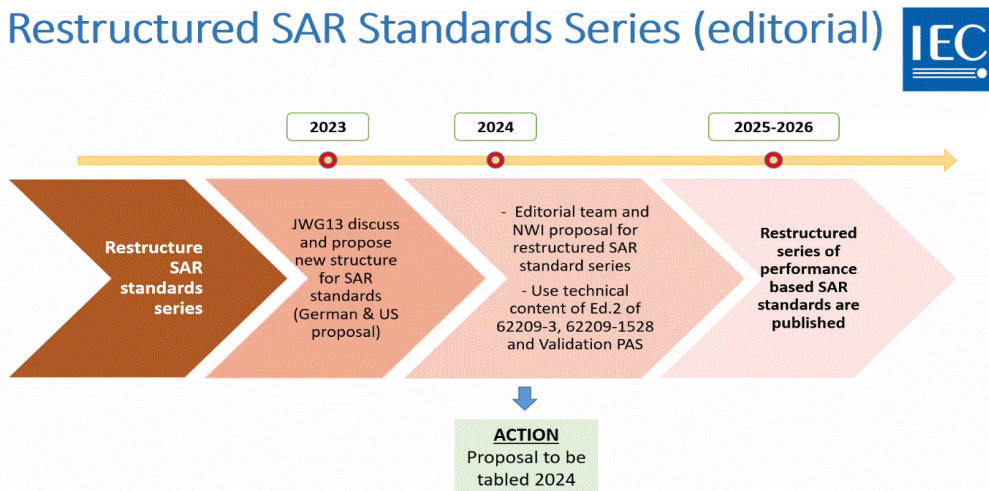
허윤정 팀장
(㈜에이치시티
전자파안전센터)

제1절 고속 SAR 측정방법제안

제2절 고속 SAR 측정 결과의 한계 수준의 도출 방법

고속 SAR 측정 표준은 최초 2014년 5월에 IEC TC106의 PT(Project Team) 62209-3으로 시작하여 2017년 규격 발행을 목표로 하였고, 이에 따라 2016년부터 2017년까지 국가 간 고속 SAR 장비 비교 시험이 캐나다 주도로 진행되어 한국의 EMF Safety社의 ES-Quick SAR, 프랑스의 ART-MAN社의 ART-Fi, 스위스의 SPEAG社의 cSAR3D에 대한 비교 시험이 한국을 비롯한 10개국에서 총 756회의 고속 SAR 측정이 수행되었다. 국비교 시험은 Full SAR 측정시스템과의 측정결과 편차 분석으로 진행되었고, 분석결과 측정 시간의 효율화는

확인되었지만, 측정 편차에 의한 불확도가 SAR 유효 불확도 한계인 30%를 초과하였다. 그래서 장비 간의 측정 안정성의 확보를 위해 시스템 유효성(System Validation) 평가방법의 보완과 기준 다이폴의 개발과 보완작업이 수행되었다. 이에 따라 기존에 발행된 SAR 표준인 62209-1/2의 30MHz에서 6GHz까지의 주파수와 유효주파수 영역을 달리하여, 검증이 확인된 600MHz에서 6GHz까지의 주파수 대역으로 2018년 PAS 63151로 발행되었다가, 이후 2019년 IEC 62209-3으로 최종 국제 표준으로 발행되었다. 그러나 여전히 높은 측정 불확도와 고속



[그림 5-1] 고속 SAR 측정 표준 동향

SAR 측정시스템인 프랑스의 ART-MAN社 ART-Fi와 스위스의 SPEAG社의 CSAR3D 간 구조적인 차이를 극복하는 보편적인 시스템 유효성 검증에 대한 명확한 대안 없이 표준이 발행되었고, TC 106에서는 JMT(Joint Maintenance Team) 62209-3을 구성하여, IEC 62209-3의 개정 작업을 수행하고 있다.

TC106은 2020년 10월 Plenary 회의에서 62209-1528:2020과 IEC 62209-3:2019의 SAR 측정 표준의 통합 작업을 위해 JWG13과 JMT 62209-3를 통한 2021년 개정 범위 준비를 제안하였다. 그렇지만 국가 위원 간의 기존 표준과 통합 표준의 범위와 성격에 대한 견해를 좁히지 못하였으며, 새로운 통합 표준의 구조에 대한 명확한 제안이 없는 상황에서 캐나다와 일본, 독일에 의해 국가별 논의의 필요성이 대두되어 통합 작업에 대한 각 국가기관의 의견 교환 및 협의되고 있다. 특히 국제 표준의 제정은 IEC 지침 파트 2, 33항[EC Directives Part 2, clause 3]에 따라 제품, 프로세스, 서비스, 사람, 시스템 및 기관에 대한 요구사항을 포함하는 모든 문서는 “중립성 원칙”에 따라 작성되어야 하고 반복 가능하며 재현 가능한 적합성 평가 결과를 제공하는 데 필요한 요구사항 이외의 적합성 평가와 관련된 요구사항이 포함되어서는 안 된다. 제품, 프로세스, 서비스, 사람, 시스템 또는 기관에 대한 추가 적합성 평가 요구사항을 명시하고자 하는 위원회는 별도의 문서 또는 별도의 부분이 독립적으로 적용될 수 있는 경우 시리즈의 별도 부분으로만 명시할 수 있게 규정을 준수해야 한다는 CENELEC의 보고 내용에 따라 IEC/IEEE 62209-1528과 IEC 62209-3의 통합 표준의 구조는 더욱 복잡한 구조로 구성될 것으로 예측된다. 이와 같은 협의 중에 독일 NC가 새로운 통합 표준의 문서 구조를 제안하였고 2022년 Plenary에서 미국에서도

통합 SAR 표준의 구조를 제안하였다. 2023년 4월에 JMT 62209-3의 측정 불확도와 시스템 유효성 검사 문서의 개정 작업이 장비 제조사 간의 입장차이로 진전을 이루지 못하여 문서의 채택이 철회되었다. 그래서 고속 SAR와 정규 SAR 측정 표준의 통합 작업을 포함한 IEC/IEEE 62209-3의 문서 개정 작업에 대한 결정이 2023년 10월 TC106 런던 총회에서 JWG13에서는 회원국과 CENELEC의 의견을 준용, 고속 SAR 측정 표준에서 시스템 유효성 검사를 측정 표준에서 분리하여 PAS[Publicly available specification] 문서로 2024년~2026년의 2년 기간 안에 장비 제조사간의 연구와 논의로 별도 개발할 것을 의결하였다. 아울러 현재 JMT에서 개정된 62209-3 Ed.2와 JWG 13 기술위원회 개정 사항을 반영한 IEC/IEEE 62209-1528을 2024년에 발행하기로 결정하였다.

이와 같이 측정 표준의 통합 과정 중인 고속 SAR 측정시스템과 정규 SAR 측정시스템의 구조와 측정방법에서는 다음과 같은 차이가 있다. 고속 SAR 측정시스템과 정규 SAR 측정시스템은 인체 모형 팬텀의 개방형과 폐쇄형 구조뿐 아니라 전자파 흡수율을 평가하는 프로브, 측정 결과의 후처리 알고리즘, 시스템 유효성 검사방법 등 많은 차이를 보이고 있다. 고속 SAR 측정시스템의 측정 절차의 가장 큰 차이점은 Full SAR 측정시스템의 프로브가 직접 생체 등가 매질을 탐침 하여 사용할 수 있는 개방형 인체 모형 시스템과 달리 시스템 제조사만 개봉할 수 있는 인체 모의 조직으로 채워진 밀폐형 인체 모형 구조를 갖고 있다. 또한, 고속 SAR 측정시스템은 벡터 측정시스템으로서 단일 프로브 시스템 또는 다중 프로브가 배열된 시스템으로 정의하고 있다. 고속 SAR 측정시스템은 프로브에서 수집된 전자기장을 재구성 알고리즘을 통하여 SAR를 측정한다. 이 재구성 알고리즘이 고속 SAR

측정시스템의 핵심적인 부분이며 반드시 장비 제조사에 의해 문서화 되어 있도록 표준에서 규정하고 있다. 고속 SAR 측정 표준인 62209-3은 고속 SAR 측정시스템 유효성 검증 절차를 제외한 장비 운용을 위한 일반적인 사항은 IEC 62209-1과 2를 따른다.

제1절 고속 SAR 측정방법제안

통신 모드의 최대 전도 전력 조건에서 고속 SAR 측정하여 Full SAR 측정이 요구되는 한계 수준을 이중 측정 설비의 최대 허용 측정 불확도[30%]를 근거로 설정 후 1단계: 고속 SAR 측정, 2단계:노출 한계의 Full SAR 측정, 3단계: 최대 결과의 Full SAR 측정 절차로 평가한다.

- 고속 SAR 측정을 아래의 [평가 절차 흐름도] 절차로 수행한다.

- (1) 고속 SAR 측정은 피시험기기의 각 동작 모드의 최대 출력 조건에서 머리 또는 몸통의 모든 SAR 노출 조건에서 Low/Middle/High 채널에 대한 측정을 수행한다.
- (2) Full SAR 측정이 요구되는 노출 한계 수준을 평가하기 위해서 고속 SAR 측정 결과는 선언된 최대 허용 출력 한계까지 Scaled Up 시킨 Scaled SAR 결과를 도출하여 평가한다.
- (3) 고속 SAR 평가 결과 중 Scaled SAR 결과가 머리 SAR [0.4 W/kg]와 몸통 SAR [0.8 W/kg], 사지 SAR [1.0 W/kg] 한계 수준 이상이면 그 노출 조건에서 정규 SAR 측정을 수행한다.
 - ※ 피시험 기기의 2 GHz 주파수 이상의 모드와 WLAN모드는 머리 SAR 노출 한계수준[0.4 W/kg]기준을 따른다.
- (4) 동작 모드의 고속 SAR 결과 중 최대 scaled

SAR에서 Low /Middle/High 채널에 대한 Full SAR 측정을 수행하여 최종 SAR 결과를 도출한다

- (5) 최종 full SAR 측정 결과가 전자파 인체 보호 기준을 만족함을 확인한다.

※ 고속 SAR 측정 설비를 사용하여 시험하기 위한 시스템 검증[System check] 및 환경 조건 요구사항은 전자파흡수율 측정 기준 고시를 준수한다.

※ 고속 SAR 측정 설비를 사용하여 시험하기 위한 피시험기기의 동작 모드의 전도 측정 및 준비 사항은 전자파흡수율 측정 기준 고시의 지침을 준수해야 한다.

※ 피시험 기기의 최대 출력 조건을 시험하기 위하여 충전된 [90% 이상 충전] 상태임을 확인해야 하며, 전도 측정결과는 동작 모드의 최대 허용 출력 한계치 이내 임을 검증하여야 한다.

※ 노출 한계 수준을 평가하기 위해서 고속 SAR로 평가된 SAR 값은 피시험기기의 최대 허용 출력 한계까지 Scaled Up Factor를 적용한 결과[Scaled SAR]로 규정한다

제2절 고속 SAR 측정 결과의 한계 수준의 도출 방법

고속 SAR 측정 결과에 대하여 Full SAR 측정을 하기 위한 한계 수준을 측정 장비의 최대 허용 불확도와 피시험기기의 편차를 적용하여 도출한다.

※ 몸통 SAR 결과에 대하여 고속 SAR 측정 설비와 정규 SAR 측정 설비에 최대 SAR 측정 불확도인 30%, 고속 SAR 측정 장비의 매뉴얼을 참고하여 최대 측정 설비 허용 error 15%, 피시험기기의 편차 1dB를 고려하여 노출 한계값을 도출한다.

그 결과 피시험기기를 정규 SAR와 고속 SAR를 사용하여 시험할 경우 측정 불확도는 49.8%이다.

Uncertainty Budget for SAR tests [Full SAR & Fast SAR]									
Error Description	Uncertainty Value ± %	Probability distribution	Div.	(c)/ 1 g	(c)/ 10 g	Standard Uncertainty ± % (1 g)	Standard Uncertainty ± % (10 g)	(v)/ veff	
Measurement system									
Full SAR system	15.00	N	1	1	1	15.00	15.00		
Fast SAR system	15.00	N	1	1	1	15.00	15.00		
Fast SAR Permissive error	7.50	N	1	1	1	7.50	7.50		∞
Product Deviation	13.00	N	1	1	1	13.00	13.00		∞
Combined standard uncertainty						24.88	24.88		∞
Expanded uncertainty (95% confidence interval)						49.76	49.76		

정규/고속 SAR 시스템 불확도

※ 국내 인체 보호 기준 : 머리 / 몸통 1.6W/kg 1g,
사지 4.0W/kg 10g

※ 위 결과로 도출된 측정 불확도에 인체보호 기준을 적용하여 SAR 노출 한계를 구한다.

SAR 노출 한계 = 인체 보호 기준 *(1-불확도)

고속 SAR 측정 결과에서 Full SAR 시험이 요구되는 SAR 노출 한계값은 몸통 SAR 0.8 W/kg 1g, 사지 2.0 W/kg 10g이 된다.

※ 머리 SAR의 경우 국내에서는 전자파 흡수율 등급제로 관리되고 있다. 그러나 고속 SAR 측정 설비의 전체 주파수 6GHz 대역에서 머리 모의인체의 측정불확도가 30% 이내를 만족하고 있지 않기 때문에 머리 SAR에 대해서는 몸통의 절반인 0.4 W/kg, 1g를 한계값으로 적용한다.

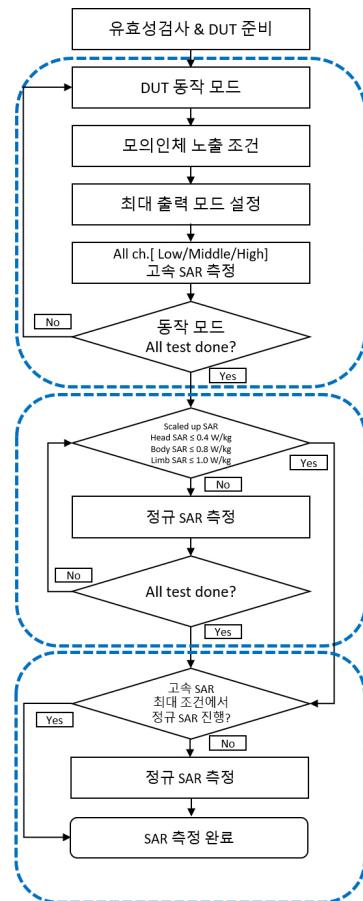
※ 한계 수준을 초과하는 SAR 노출 조건에 대해서는 Full SAR 측정을 수행하여 전자파흡수율을 평가한다.

본 연구결과로 Full SAR 측정 설비와 고속 SAR 설비의 측정 불확도를 근거로 도출한 고속 SAR 측정시스템을 이용한 적합성 평가 방안을 적용하여 SAR 평가 소요시간을 정규 SAR 측정 소요시간과 비교하기 위하여 최소 시험과 최대 시험 결과에서

1 단계:
최대 출력
고속 SAR 측정

2 단계:
Scaled SAR
한계 수준 이상
정규 SAR 시험

3 단계:
최대 고속 SAR
조건에서
정규 SAR 측정



[그림 5-2] 평가 절차 흐름도

예측해 보았다.

최소 시험 시간으로 예측되는 전체적으로 낮은 SAR의 피시험 기기의 경우, Head SAR 0.4 W/kg 미만, Body SAR 0.8 W/kg 미만의 경우 SAR 적합성 평가 소요시간은 정규 SAR 시험소요 시간 대비, 48%이상, 측정 효율화를 이룰 수 있다.

그러나 SAR 측정값이 기준 한계 값 이상 인 최대 시험 시간 경우를 예측하면 정규 SAR 측정 보다 고속 SAR 측정 시간이 16% 더 소요 될 수 있다.

	Full SAR	3G Band	4G band	5G band	24/5G WLAN/BT		
평균 SAR 측정 시간	DASY5	Test Band	1	5	1	4	
		Test case	14	70	16	56	
		Test time(Min)	560	2800	800	2800	
		Total (Hour)	116.0			Total (Days)	14.5
평균 SAR 측정 + Fast SAR Head SAR <0.4 W/kg body SAR <0.8 W/kg	(SARID + DASY)	Test Configuration	3G Band	4G band	5G band	24/5G WLAN/BT	
		Test Band	1	5	1	4	
		Head Test case	12	60	12	48	
		Body Case	18	90	18	72	
		fast Test time(min)	60	300	90	240	
		Full SAR case	6	30	6	24	
		Full Test time(min)	240	1200	300	1200	
		Fast+Full time (min)	300	1500	390	1440	(-48%)
		Total (Hour)	60.5			Total (Days)	7.6
평균 SAR + Fast SAR Test Head SAR >0.4 W/kg Body SAR >0.8 W/kg	(SARID + DASY)	Test Configuration	3G Band	4G band	5G band	24/5G WLAN/BT	
		Test Band	1	5	1	4	
		Head Test case	12	60	12	48	
		Body Case	18	90	18	72	
		Fast Test time(min)	60	300	90	240	
		Full SAR case	15	75	15	60	
		Full Test time(min)	600	3000	750	3000	
		Fast+Full time	660	3300	840	3240	(+16%)
		Total (Hour)	134			Total (Days)	16.2

고속 SAR측정 적합성 평가 소요 시간 예시

고속 SAR 측정시스템 사용의 장점은 기존 정규 SAR 측정 시간 대비 단순 측정 시간의 비교에서는 약 80%의 시간 단축을 이룰 수 있다는 장점이 있어, 이는 시간 의존적인 시험 업무 환경을 가진 시험소와 인증 비용의 부담이 큰 제조사에서는 큰 이점이라고 할 수 있다. 하지만 고속 SAR 측정시스템의 구조의 특수성으로 확장이 불가능하여 측정 영역 제한으로 측정 영역을 벗어나는 노트북, Tablet과 같은 비교적 대형의 다중 안테나 측정에 적합하지 않으며, 검정 박스의 밀폐된 시스템 구성으로 인해 Liquid 및 Probe 등에 대한 유효성 검증(System Validation)이 힘들다는 단점과 피시험기기의 형태에 대한 측정 편차와 머리 몸통의 SAR 측정 불확도는 적합성 평가에 적용하기에 많은 제약 사항이 있음을 분석을 통하여 확인하였다. 이는 고속 SAR 측정 시스템이 정규 SAR 측정 시스템을 대체하기 어려운 가장 큰 이유 중 하나일 것이다.

그렇지만, 고속 SAR 측정 설비는 복수의 100여개의 고정된 Array 프로브 측정 구조로 1초에 3회 이상 측정 할 수 있는 빠른 성능과 생체조직 등가용액의 측정과 교체가 불필요한 단순한 측정 설비 구조, 부가적인 최신 기술 평가기능 제공 등의 다양한

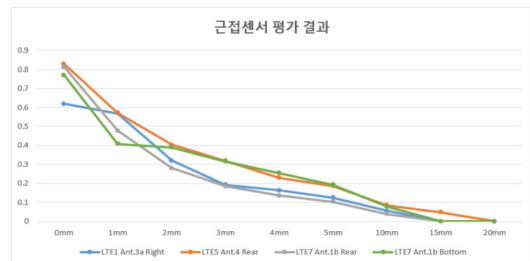
장점을 보유 하고, 합리적으로 활용한다면 오히려 단일 프로브의 정규 SAR 설비의 단점을 보완 하여 시험하기 어려운 최신 기술의 적합성평가를 가능하게 하여 효율성과 활용도를 넓혀 갈 수 있다.

고속 SAR 측정 설비의 장점을 활용할 수 있는 시험 항목은 다음과 같다.

1. 근접센서 출력저감 기능 검증

고속 SAR 측정 설비를 이용하여 근접센서 출력경향을 확인하기 위한 다양한 이격조건에 따른 반복 SAR 측정을 수행 한다면 정규 SAR 측정설비 대비 90% 이상 신속하게 측정하여 검증 할 수 있다.

Mobile Phone							CSAR3D									
Band	Antenna	Position	Channel	BW	RB	1/5 S/R	0mm	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	10mm	15mm	20mm	
LTE B1	3a	Right	18550	10MHz	1449	0.87	LTE1 Ant.3a Right	0.619	0.568	0.321	0.193	0.163	0.124	0.055	0	
LTE B5	4	Rear	26765	5MHz	10	0.793	LTE5 Ant.4a Rear	0.829	0.571	0.403	0.319	0.229	0.186	0.084	0	
LTE B7	7a	Rear	21715	15MHz	1/74	0.909	LTE7 Ant.7a Rear	0.884	0.472	0.285	0.185	0.135	0.103	0.038	0	
LTE B7	7a	Bottom	21000	15MHz	1/74	0.832	LTE7 Ant.7a Bottom	0.771	0.408	0.26	0.166	0.254	0.193	0.079	0	

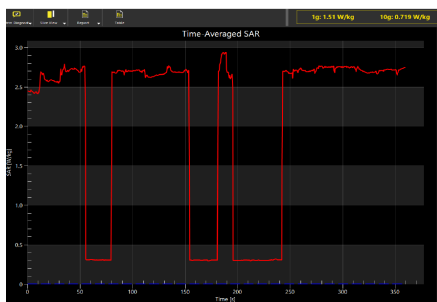


고속 SAR측정을 통한 근접 센서 평가 예시

위 시험을 정규 SAR 측정 설비로 수행 한다면 9화*4면의 36회 측정은 18시간정도 소요되지만 고속 SAR측정 설비로 측정 하면 약 2시간 안에 신속하게 측정 할 수 있다.

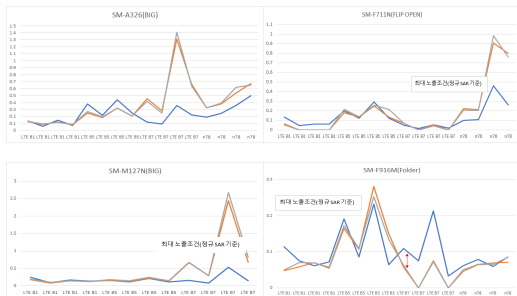
2. 시간 평균 출력 제어 알고리즘 검증 [TAS알고리즘]

스마트폰에 널리 적용되고 있는 TAS 알고리즘의 검증도 추가적인 설정 없이 고속 SAR 설비의 빠른 측정으로 TAS 알고리즘으로 제어된 출력 조건의 SAR 측정결과를 6분 동안 평균하여 인체보호기준을 준수하는지 도출된 SAR 결과로 검증 할 수 있다.



시간 평균 알고리즘 평가 예시

3. 최대값 도출을 위한 스크리닝(Screening) 시험 방법



고속 SAR screening 기법을 활용한 최대 노출 조건 분석예시(2022년 연구 결과)

2022년 고속 SAR측정 분석 과제에서 5 종류의 다양한 최신 스마트폰기기에 대한 500여회의 고속 SAR와 정규 SAR 비교 시험을 통하여 screening 시험 방법을 검증 하였다. 각 시험 모드의 최대 SAR을

분석한 결과 머리 와 몸통 SAR에서 측정 결과 값의 편차는 있었으나 최대 SAR이 측정된 시험 조건은 3 GHz 미만의 주파수 대역 통신 모드에서 70% 이상 일치함을 보였다.

그리고 피 시험 기기의 유형에 따른 편차는 있지만 고속 SAR 측정 결과가 0.8 W/kg 이상에서 그보다 낮은 SAR 결과에서 보다 비교적 낮은 편차로 안정적으로 평가 되었으며 이러한 고속 SAR 측정 경향을 screening 시험방법에 적용하면 피 시험 기기의 통신 모드 최대 노출 SAR 평가 면을 신속하게 찾을 수 있다.

결론적으로, 현재 정규 SAR 측정 시스템에 대한 국내 SAR 측정 지침의 시험 간소화 적용으로 측정 횟수와 전도 측정의 부담이 감소 되어 시험 시간의 효율화가 구현되어 있어 고속 SAR 측정시스템의 가장 큰 장점이 현실적으로 큰 효과를 나타내지는 못하는 것처럼 보인다. 그렇지만, 피 시험 기기의 유형에 따라 낮은 SAR 측정 결과에 적용된다면 전체 SAR 시험 시간의 최대 50%의 효율화가 달성될 수 있다.

고속 SAR 측정시스템의 최대 장점인 고속 측정을 적재적소에 활용하여 반복 시험이 많이 요구되는 시험 항목의 효율화, 정규 SAR 시험으로 쉽게 확인하기 어려운 다양한 통신기술의 검증 및 분석연구, 시험소와 제조사의 기술 검증, 내부 품질 관리, 정부기관의 SAR사후심사 등의 다양한 분야에서 그 장점을 활용 한다면 보다 넓은 분야에서 효율적으로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 전자파흡수율 측정기준 국립전파연구원고시 제 2017-8호.
- [2] 국립전파연구원고시 제2018-18호.
- [3] 전자파인체보호기준 과학기술정보통신부고시

- 제2019-4호, 2019. 1. 16., 일부개정.
- [4] 귀에 근접하여 사용하는 휴대용 무선 설비의 전자파 흡수율 측정 절차, KS C 3370-1.
 - [5] 인체에 근접하여 사용하는 휴대용 무선설비의 전자파흡수율 측정 절차, KS C3370-2.
 - [6] 전자파 흡수율 측정 기준 적용지침(ver.7).
 - [7] IEC/IEEE International Standard - Measurement procedure for the assessment of specific absorption rate of human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices - Part 1528: Human models, instrumentation, and procedures (Frequency range of 4 MHz to 10 GHz),” in IEC/IEEE 62209-1528:2020.
 - [8] IEC 62209-3:2019 Measurement procedure for the assessment of specific absorption rate of human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices - Part 3: Vector measurement-based systems (Frequency range of 600 MHz to 6 GHz).
 - [9] SPEAG, cDASY6/8 Application System Handbook.
 - [10] SPEAG, cSAR3D3D SAR Measurement Systems System Handbook V2.6 Beta.
 - [11] IEC MT1 62209-2_324_ISED_Fast SAR Study_Analysis Report_Feb.2017.

제6장

빅데이터 기반 생활전자파 예측기술 개발

전양배 팀장

(한국과학기술원
조천식모빌리티
대학원)

제1절 1세부과제: 인공지능 기반 기지국 전자파 인체 노출량 예측 알고리즘 개발

제2절 2세부과제: 실측 전자파 빅데이터 분석·관리 플랫폼 개발

제3절 1세부과제 연구 수행 핵심 내용

제4절 2세부과제 연구 수행 핵심 내용

제5절 국제표준 활동

제6절 향후 수행 계획

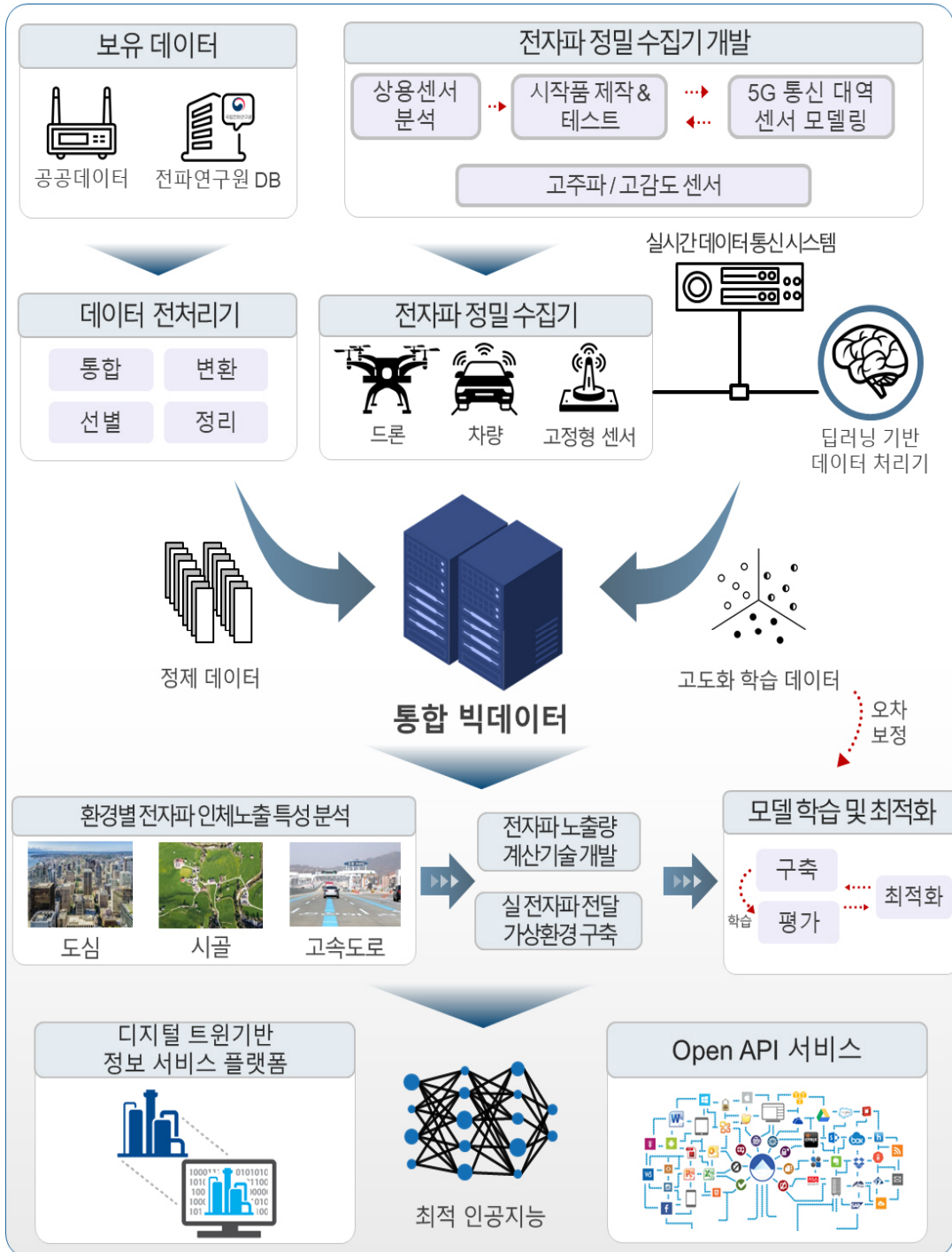
『빅데이터 기반 생활전자파 예측기술 개발』 과제는 2021년도부터 기획과제를 통해 본 과제의 배경과 필요성, 연구목표 및 내용에 대한 사전 검토가 진행되었다. 우선 본 과제의 배경과 필요성을 살펴보면, 그 배경으로 5G 서비스 이후부터 기지국이 기하급수적인 증가가 예상됨에 따라 5G 기지국의 전자파에 대한 국민의 불안감 및 우려가 주목받기 시작하였다.

5G 통신의 경우 다중 입출력, 빔포밍 기술을

이용한 지능형 기지국을 통해 기존의 기지국 단점을 보완하여 에너지 효율 향상 및 저지연, 대용량의 '통신 시스템 기술개발'이 가속화되고 있으며, 기존 시스템 대비 그 복잡도가 지수적으로 증가한 5G 기지국에서 발생한 생활환경 전자파의 분석을 위해 인공지능을 이용한 기술개발 및 차세대 통신 시스템(6G 등)에서 활용할 수 있는 기술 기반 마련이 필요하다.



[그림 6-1] 빅데이터 기반 생활전자파 예측 기술개발 필요성



[그림 6-2] 빅데이터 기반 생활전자파 예측 기술개발 개념도

『빅데이터 기반 생활전자파 예측기술 개발』 과제의 연구목표는 (1) 인공지능 기반 기지국 전자파 인체 노출량 예측 알고리즘 개발, (2) 실측 전자파 빅데이터 분석·관리 플랫폼 개발로 나뉜다.

이 세부 과제들을 살펴보면,

1세부과제는 5G 기지국 전자파에 대한 전자파 인체 노출량을 ‘AI (Artificial Intelligence)’를 “학습(머신러닝, 딥러닝)시킨 도출 결과물과” 실제 기지국에서 측정한 결과들을 끊임없이 “비교·분석하고” 최종 예측기술 데이터의 신뢰성을 향상시켜 그 데이터를 대국민 서비스의 목적으로 제공하거나 「Compliance Test」의 한 종류로 참고 하여 활용하는 것이고, 2세부과제는 AI 학습을 위한 전처리 기능에 부합하는 실측 데이터를 효율적으로 확보하기 위해 전자파 정밀 수집기(RF 센서)를 개발하고 설치하여 이를 통한 실시간 5G 기지국 전자파를 수집하고 그 수집 시스템을 구축하는 것이다.

이러한 연구목표를 바탕으로 주요 연구내용을 살펴보면 다음과 같이 볼 수 있다.

제1절 1세부과제: 인공지능 기반 기지국 전자파 인체 노출량 예측 알고리즘 개발

5G 등 기지국의 신호 특성 (빔포밍, 다중노출 등)과 설치조건(옥상, 고층, 외벽 등) 및 전자파 인체 노출 영향 조건 (반사, 굴절, 회절 등)을 검토·분류하여 인공지능 계산방정식의 변수 (계산모델) 도출을 수행하고, GIS¹⁾ (지리정보시스템) 정보를 이용하여 환경별 (도심, 시외, 시골, 고속도로) 시뮬레이션 기반 전자파 노출 환경 설계 및 전자파 전달 경로 해석을

1) GIS (Geographic Information System, 지리정보 시스템): 전 국토의 지리 공간정보를 디지털화하여 그 데이터를 분석·가공하여 활용할 수 있는 시스템

통한 인공지능 학습의 핵심 변수를 함께 도출하여, 빅데이터 연동, 인공지능 계산모델 학습을 통해 전자파 인체 노출 환경별 (도심, 시외, 시골, 고속도로) 전자파 예측기술을 개발한다.

미래 이동통신 (5G, 6G)의 전자파 노출량 예측을 위한 인공지능 고도화를 위해 인공지능 구성요소 최적화를 이루고, 2세부과제의 정밀 수집기와 실시간 연동 및 데이터 분류/가공을 수행하는 실시간 고도화 데이터 처리기 개발을 수행한다. 아울러, 빅데이터 및 예측 인공지능을 활용한 서비스를 확대하기 위해 모바일 (휴대전화, 태블릿 등) 어플, 웹 등 다양한 이동통신 서비스와 연동하는 Open API²⁾를 개발하여 일반에 공유함으로써 새로운 전자파 산업기반을 제시한다.

제2절 2세부과제: 실측 전자파 빅데이터 분석·관리 플랫폼 개발

5G 기지국의 전자파 인체 노출 환경별 (도심, 시외, 시골, 고속도로) 전자파 측정 「보유데이터 (RRA) 및 측정 데이터」³⁾를 사전에 조사·수집·분석하고, 기지국 전자파 실측 데이터의 분석, 분류 및 유효성 검증을 위한 기준값을 도출한다.

수집된 데이터 분석 전처리기 개발을 통한 신뢰성 있는 데이터 분류, 오류 제거 및 양질의 빅데이터 구성을 위한 선별데이터 관리 기술을 개발하고,

2) Open API: Open Application Programming Interface의 약자. 개발자라면 누구나 사용할 수 있는 공개된 API를 말하며, 하나의 웹사이트에서 자신이 가진 기능을 이용할 수 있도록 공개한 프로그래밍 인터페이스이다.

3) 「보유 데이터(RRA) 및 측정 데이터」: RRA 통합정보 시스템 데이터(67만 국), 실험실의 측정 데이터, 인체 노출 시나리오별 3차원, 4차원(=3차원+시간별) 전자파 현장 실측 데이터

고정형, 이동형 (차량, 드론) 전자파 정밀 수집기 (RF 센서) 개발·설치 및 빅데이터와 연동되는 실시간 데이터 수집 시스템을 구축한다.

또한, 개발되는 미래 통신(5G, 6G)을 이용하는 기지국 대상 전자파인체노출 평가 방법(안)의 법적 제도화 및 국제표준화 대응 검토 등 자체 연구를 수행하며, 전자파 측정·분석 등 평가방식의 타당성을 검증하고, 국제표준 추진을 위한 국내외 관련 연구 결과 및 기고서 검토 등 국제표준 규격에 선제적으로 대응할 수 있는 기반을 마련한다.

나아가 데이터 통합, 선별, 변환을 통해 데이터를 정제하여 빅데이터 저장·관리 방법을 확보하고 빅데이터 플랫폼과 연동할 수 있는 실시간 데이터 수집기를 개발·제작하여, 1세부과제에서 개발된 전자파 인체 노출량 AI와 실시간 연동할 수 있게 안정적인 운용 방안을 도출하여 실제 시스템에 적용한다.

제3절 1세부과제 연구 수행 핵심 내용

5G 특징- Beam Foaming, TDD(Time Division Duplex) -을 반영할 수 있는 데이터 영역 도출 등으로 2세부에서 개발 및 제작된 정밀 수집기로 AI 학습이 가능한 측정 데이터를 확보하고, 실제 측정을 통해 수집된 데이터 영역의 정확도를 분석해 AI 학습의 타당성 검증 및 필수 수집 데이터 영역을 도출한다 (표 6-1 참조).

따라서, 이러한 기반 데이터로 기지국 전자파 강도 Prototype AI 모델을 만들어 기본적인 AI 성능의 정상 동작 유무를 판단할 수 있다.

〈표 6-1〉 기지국 핵심 변수 정보

기지국에 대해 도출된 필요한 핵심 변수	
1	RSRP
2	PCI
3	SSB Frequency
4	Beam ID
5	RSRQ
6	RSSI
7	SINR
8	PSS
9	SSS
10	DMRS
11	Time Offset
12	Frequency Error
13	PDP (μ단위 측정장비)

기지국 주변에서 알 수 있는 정보로는 ① 측정 주변 환경 장애물, ② 사업자 주파수 대역, ③ ARFCN, ④ SCS, ⑤ BW(Bandwidth), ⑥ SSB 주기이며, **확인이 필요한 정보**로는 ① 기지국의 정확한 위치 (위도, 경도, 고도), ② 안테나 설치 정보(Physical tilt, Electric tilt, 설치 방향), ③ 기지국의 PCI 정보의 대조 확인, ④ 안테나 패턴, ⑤ EIRP 등이 있다.

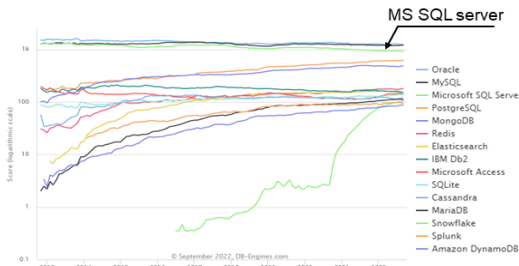
이에 더해, 앞서 밝힌 GIS 정보를 이용하여 Fading 효과를 최소화할 수 있는 Wide Open Area (개활지) 장소를 선정하여(KAIST 포함 대전 35개 지역과 인천 2개 지역) 실측을 진행했다.



[그림 6-3] 실측 장소 사진

전자파 데이터 필드 종류 및 특성에 알맞은 데이터베이스(DB) 구축을 위해 SQL(Structured Query Language)을 만들어야 하는데, (1) 데이터를

정해진 스키마⁴⁾에 따라 테이블에 저장하고, (2) 이 데이터의 관계를 통해 여러 테이블로 또 분산 저장할 수 있기에 전자파의 경우, 한정적이나 매우 중요한 데이터 필드를 가지고 있어 MS SQL server를 이용한다.



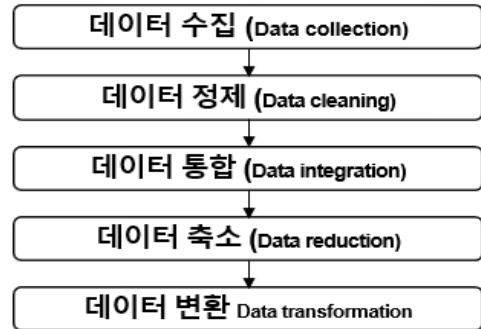
[그림 6-4] MS SQL server와 다른 서버 성능 비교

이러한 데이터 구축을 통해 1세부 및 2세부 공용 DB(database) Table을 설계했고, 이를 바탕으로 네트워크 연동 DB를 구축했다.

그리고, 수집된 전자파 데이터 분류 및 이상 데이터 삭제 등 기초 전처리⁵⁾를 개발하는 과정은 다음과 같다.

- ① 데이터 수집: 분석이나 학습에 필요한 데이터를 부분 혹은 전체를 수집하는 과정
- ② 데이터 정제: 결측치⁶⁾를 채우거나 이상치를 제거하는 과정

- 4) 스키마 (Schema): “도식”이라는 뜻으로 인공지능, 인지과학, 언어학 등에서 공통으로 사용하는 개념으로 지식을 표상하는 구조를 의미.
- 5) 전처리기: (Preprocessor 또는 Precompiler라고 함. 데이터를 분석 및 처리에 적합한 형태로 만드는 과정으로, 데이터의 품질을 향상시켜 분석 및 처리를 더욱 쉽게 하는 기법. 즉, 입력 데이터를 처리하여 다른 프로그램의 재입력 데이터로 사용되는 출력물을 만들어내는 프로그램
- 6) 결측치: 데이터에 값이 없는 것을 뜻함. 줄여 NA 또는 Null이라 함. 이러한 결측치는 데이터 분석에 매우 방해가 되는 요소임.



[그림 6-5] 전처리 과정 순서도

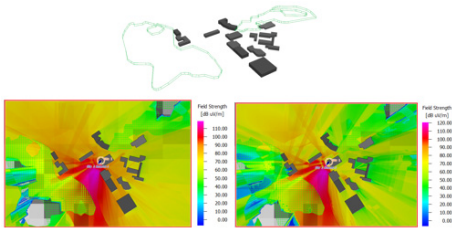
- ③ 데이터 통합: 다수의 정제된 데이터를 통합하여 표현하는 과정
- ④ 데이터 축소: 샘플링, 특징 선택 및 추출을 통해 데이터 크기를 줄이거나 조절하는 과정
- ⑤ 데이터 변환: 데이터 크기를 축소하지만 같은 분석 결과를 얻도록 하는 과정

전처리를 수행하기 위한 고려사항으로, Training serving skew(학습에서 사용한 데이터와 서빙 데이터와 특성이 다른 경우) 작업과 Full pass transformation (전체 데이터에 대한 스캔이 필요한 방식으로 이 방식이 지원되지 않는 경우 feature scaling 또는 normalization의 적용이 불가함) 작업을 염두에 두어야 한다.

이러한 고려사항을 바탕으로, (1) 결측치 처리: Domain Knowledge에 맞게 결측치를 처리하고, 충분한 데이터 확보를 통해 결측치 사례를 방지하며, 데이터가 불충분한 경우에는 중앙값과 최빈치 등으로 결측치들을 대체한다. (2) 이상치 처리: 특정 분포값을 기준으로 극단치로 처리하거나 구간을 세분화하여 Binning으로 처리하며, Domain Knowledge에 기반하여 데이터 의미에 따라 그 값을 변환해 준다. (3) 특히, 데이터 분포 특성을 재검점하고 데이터에 사용된 단위 변환을 자세히 확인하는 것도 중요하다.

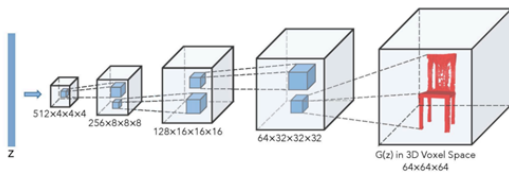
GIS 데이터로부터 Voxel, mesh 등 AI 입력이

가능한 형태로 3D 지도 데이터 가공이 필요한데, 이는 GIS에 담겨진 3D 건물 정보가 내부는 텅 비어있어 - 3D 지도 데이터의 건물 하부와 지표면 바닥이 분리되지 않고 빈 공간임- 전자파의 회절에 의한 복잡한 경로 손실 등 전자파 인체 노출량 정보에 부합하는 함축된 특징으로 다시 추출해야 하는데 이러한 지도 정보의 데이터 가공(*.STL로 변환)을 수행해야 한다. (*.DXF는 가공 데이터로 활용이 어려워 *.SHP 기반 시뮬레이션 입력 진행 예정)



[그림 6-6] 분해능 0.25 m와 1.5 m의 EMF 차이

따라서, 3D deep learning은 방대한 자료 용량으로 인해 특징 추출 전처리수행이 꼭 필요하다는 것을 재확인하였고, 3D 데이터를 특정 크기 기준으로 Sampling 하여 재구성하는 방안을 연구하고 있다. (기준값을 확보)



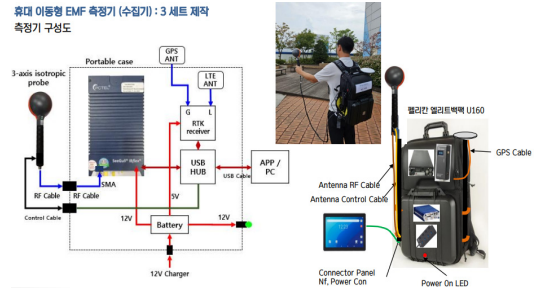
[그림 6-7] 3D de-convolution을 이용한 구조 재구성

제4절 2세부과제 연구 수행 핵심 내용

2세부과제는 중·소도시 환경의 5G 기지국 NR FR1(3.5 GHz 기반) 및 FR2 (28 GHz 기반)에 대한 측정

방법 개발 및 외삽(extrapolation) 인자 정확성 개선을 통한 검증 기준값을 도출하여 이동형 전자파 정밀 수집기를 설계하고 시제품을 제작 및 개선하여 실제 측정에 적용하는 것이다.

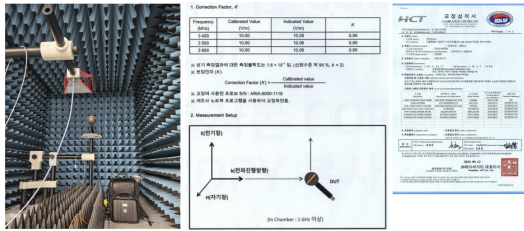
휴대 이동형 EMF 측정기(수집기): 3 세트 제작
측정기 구성도



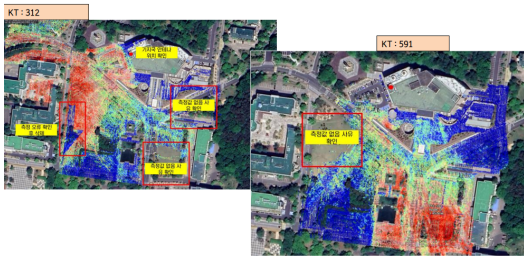
[그림 6-8] 휴대 이동형 정밀 수집기 제작 구성도

이 휴대 이동형 정밀 수집기의 제작 목적은 기존의 측정 삼각대를 이용해 측정하는 경우, 측정 거리마다 이동하며 측정을 위한 장비의 세팅을 다시 해야 하는 번거로움과 세팅하는 과정에서 발생하는 측정 오차가 발생하여 측정 지역의 정확한 전계 강도를 보장할 수가 없었다. 그러나, 휴대 이동형 정밀 수집기의 경우 한번 성능평가 및 교정을 받은 후에는 측정하고자 하는 지역에 대해 전방위적으로 매우 정확한 실제 측정 데이터를 확보할 수 있게 된다. 이러한 장점을 살려 1세부과제에서 수행하는 인공지능 학습에 정밀하고 정확한 데이터를 제공할 수 있게 되며, 향후 5G 기지국 평가(Compliance Test)에도 활용할 수 있다. 본 이동형 정밀 수집기를 설계 및 제작한 후에 이에 대한 성능 측정 및 교정을 수행하였으며 그 성적서를 아래와 같이 확보하였다.

이 수집기를 이용하여 실제 측정을 아래와 같이 진행하였다. 실측 장소는 대전 충남대학교 농대 주변의 5G 기지국을 대상으로 수행하였으며, 붉은색은 기지국 신호 강도가 높은 지역이고 푸른색으로 갈수록 신호 강도가 낮은 지역을 의미한다. 또, 아무런 색깔이 없는 지역은 실제 측정값이 없는 지역이다.

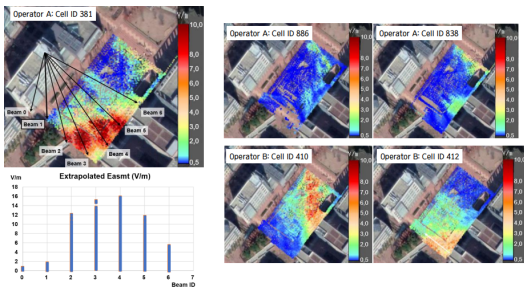


[그림 6-9] 성능평가 및 성격서



[그림 6-10] 휴대 이동형 정밀 수집기 실측 결과 (1)

실제 인천광역시 소재 인천대학교 중앙광장 주변에서 실측한 결과를 분석해 보면 다음과 같다.



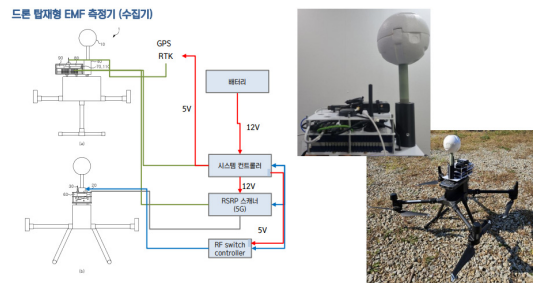
[그림 6-11] 휴대 이동형 정밀 수집기 실측 결과 (2)

중앙광장을 중심으로 총 5개의 기지국이 형성되어 있으며, 기지국의 위치는 건물마다 흩어져 있으며, 기지국의 지향각은 모두 중앙광장 방향을 향하지만, 그 위치에 따라 전계 강도가 차이가 있다. 특히 중심 건물의 Operator(통신사) A의 기지국 ID 381의 경우 모두 7개의 Beam을 형성하고 있으며 이 중에서 측정 위치를 중심으로 Beam 2, 3, 4, 5가 가장 높은

전계 강도를 형성한다는 것을 알 수 있다.

이러한 실측 데이터는 모두 1세부과제에 실시간 제공되며 AI 학습 데이터로 활용되고 있다.

또한, 2세부과제는 드론 탑재형 정밀 수집기도 설계 및 시작품 제작을 수행하였는데, 그 목적은 기존 4G LTE의 경우에는 2차원적 표면의 EMF 강도를 측정하거나 평가했다면, 5G의 경우 그 기술적 특성(빔포밍, 다중노출 등)으로 인해 3차원적으로 전파 파형이 형성되어 휴대 이동형 정밀 수집기로는 측정에 한계가 있다. 따라서, 이 한계를 극복하고 5G 전파 파형 특성을 정확하게 측정하기 위함이다.



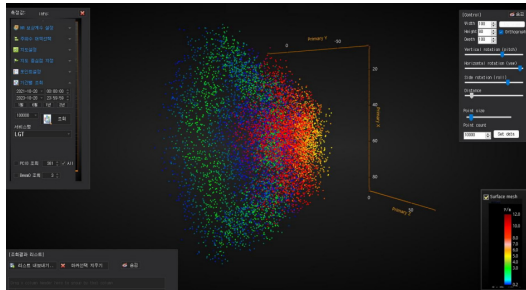
[그림 6-12] 드론 탑재형 정밀 수집기 설계도 및 사진

드론 탑재형 정밀 수집기는 높이에 따라 전자파 환경을 측정하기 때문에 1세부과제에서 확보한 GIS 기반 3D 지도에 정확하게 Mapping을 시켜 시각화 처리작업도 수행해야만 한다. Mapping이 되지 않으면 부정확한 위치 정보를 제공하거나 실제 측정과 다른 결과값을 제공하는 오류가 발생한다.

또한, 드론 탑재형 정밀 수집기는 외부 환경(고도의 제한-무한정 높이 날 수 없음, 날씨의 제약-바람에 의해 호버링 시 흔들림이 많고, 눈, 비가 내릴 시 측정이 부정확함-)에 영향을 많이 받는다.

이러한 제약 사항에도, 드론 탑재형 정밀 수집기는 앞서 언급한 3차원적 전파 파형이 형성되는 5G 기지국 전자파 환경을 측정하기에는 매우 적합한 시스템이다.

드론 탑재형 정밀 수집기의 3차원 측정 결과는 다음과 같다.



[그림 6-13] 드론 탑재형 정밀 수집기 실측 결과

측정 지점의 공간에 분포하는 기지국의 전계 강도 특성을 쉽게 파악할 수 있으며, 측정하는 위치 공간 어느 지점에서 전계 강도가 가장 높게 형성되고 있는지 알 수 있다.

이러한 정보를 GIS 기반 3D 지도 정보에 함께 Mapping 시켜 주면 기지국의 위치 정보에 따른 전자파 인체 노출량 정보도 함께 제공할 수 있다.

제5절 국제표준 활동


이러한 결과물을 국제표준에 기고하는 활동도 병행하였는데, IEC의 경우 TC106/MT3 (IEC 62232)에, ITU의 경우 ITU-T/SG5에 기고하였다.

IEC 62232 (Determination of RF field strength and SAR in the vicinity of radiocommunication base stations for the purpose of evaluation human exposure)에는 5G 기지국 주변의 인체 노출량 평가를 위한 RF 자기장 강도 및 SAR 평가 방법으로 제안했으며, 본 내용은 부록(Annex)의 「Case Study」로 반영되었다.

현재 IEC 62232의 경우, Ed.3 AMD3.1 문서로

가기 위한 CDV 문서를 검토하는 단계에 있다.

ITU-T/SG5 (EMF, environment, climate action, sustainable digitalization, and circular economy)에는 5G 기지국에 대한 새로운 평가 방법으로 2023년 5월에 기고하여 New Working Item으로 채택되었고, 2023년 New Recommendation에 대한 문서 목차를 제안하여, 문서번호 「SG5-TD1043-R2」에 Question 3/5의 「Draft 의장 보고서」로 채택되었다.



INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION
TELECOMMUNICATION
STANDARDIZATION SECTOR
STUDY PERIOD 2022-2024

SG5-TD1043-R2
STUDY GROUP 5
Original: English

Question(s): 3/5 Geneva, 13-22 November 2023

TD

Source: Rapporteur Q3/5	
Title: Draft Report of Question 3/5 (Geneva, 13-22 November 2023)	
Contact: Fryderyk Lewicki Orange Polska Poland	Tel: +48 71 321 0924 Fax: +48 71 321 0952 E-mail: fryderyk.lewicki@orange.com

Abstract: This TD contains the draft Report of Question 3/5 meeting held in Geneva from 13 to 22 November 2023.

2 Results

2.1 Question 3/5 summary

The Rapporteur of Q3/5 (Mr Fryderyk Lewicki) opened the meeting and presented the draft agenda contained in [TD1023-R3](#), which was approved without modifications.

The meeting received and reviewed 14 Contributions relevant to Q3/5.

The main discussions were:

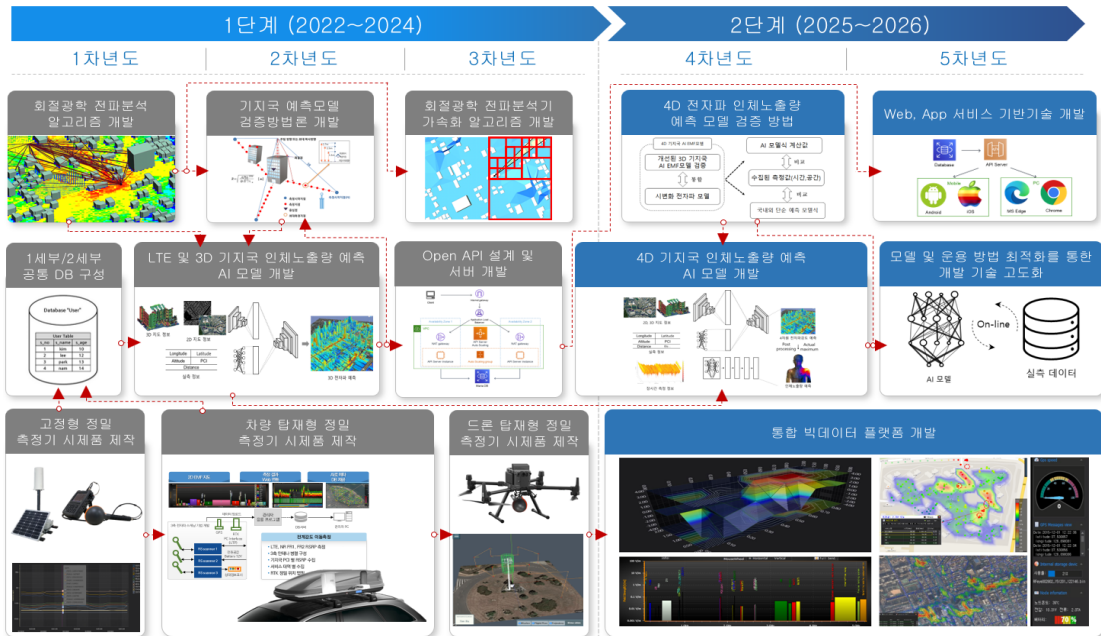
- It was decided not to open new work items.
- 2 draft revised Recommendations were submitted for consent, namely:
 - o Draft Recommendation ITU-T K.83: "Monitoring of electromagnetic field levels" [TD1208-R2](#)
 - o Draft Recommendation ITU-T K.91: "Guidance for assessment, evaluation and monitoring of human exposure to radio frequency electromagnetic fields", [TD1180](#)
- No draft Supplement was submitted for agreement.
- One Liaison statement was reviewed, and one answer was provided.
- Progress was made to the following work items:
 - o **New Recommendation ITU-T K.Ai&EMF:** "The EMF evaluation method using artificial intelligence in vicinity of 5G NR base station", C345 and C346

[그림 6-14] ITU-T/SG5 Draft 의장 보고서

제6절 향후 수행 계획

『빅데이터 기반 생활전자파 예측기술 개발』 과제는 1세부과제와 2세부과제 사이 매우 밀접한 상호 협력적 관계가 필요하다.

그 계획을 살펴보면, 향후 3차 연도부터 1세부



[그림 6-15] 향후 과제 추진계획 및 전략

과제에서는 5G 기지국의 전자파 인체 노출량을 인공지능을 활용하여 기존에 측정할 수 없거나 부정확하게 측정되었던 값들을 실측 결과와 시뮬레이션 결과를 지속해서 상호 비교하고, 재수정 후 다시 학습에 반영하여 측정하기 어려운 환경에서 사람이 직접 측정하지 않더라도 매우 높은 신뢰도를 가지는 데이터를 제공할 수 있도록 《AI (인공지능) 학습 고도화 작업》을 수행할 계획이다.

2세부과제는 1세부과제의 전처리 개발을 통한 신뢰성 있는 데이터 분류, 오류 제거 및 양질의 빅데이터 구성을 위한 선별데이터 관리 기술을 개발하고, 고정형, 이동형 (차량, 드론) 전자파 정밀 수집기 (RF 센서) 개발·설치 및 빅데이터와 연동되는 실시간 데이터 수집 시스템을 완성해 주어진 측정 환경에 최대한 제약 없이 정밀한 측정 방법을 고도화시킬 계획이다.

아울러, 이러한 『빅데이터 기반 생활전자파 예측 기술 개발』 기술이 국제표준에 반영되도록 지속해서

본 과제의 우수하고 뛰어난 수행 결과물을 기고할 예정이다.

참고문헌

- [1] IEC62232 ED3-CD
- [2] ITU-T SG5-TD1043-R2
- [3] J. Thrane, D. Zibar and H. L. Christiansen, "Model-Aided Deep Learning Method for Path Loss Prediction in Mobile Communication Systems at 2.6 GHz," in IEEE Access, vol. 8, pp. 7925-7936, 2020
- [4] Share Technote - 4G/LTE - Fading (https://www.sharetechnote.com/html/Handbook_LTE_Fading.html)

제7장

RF 방식 무선전력전송 기술 동향 및 인체 영향 연구

방진규 박사
(한국해양과학기술원)

제1절 RF 방식 무선전력전송 기기

제2절 RF 방식 무선전력전송 방식

제3절 RF 방식 무선전력전송 기술 인체영향 표준화 동향

제4절 RF 방식 무선전력전송 기기의 전자파 인체 영향 해석

무선 스마트 기기에서 빠르게 적용되었던 무선전력전송(WPT: wireless power transfer)을 이용한 충전방식은 매우 보편화 되었으며, 배터리 전력을 사용하는 기기의 모든 응용 분야에 적용하기 위해 다양한 연구 및 기술개발이 진행되고 있다. 특히 저출력이 요구되는 생체이식형 바이오 기기, 스마트 사물인터넷 (IoT: internet of things) 기기부터 고출력이 필요한 전기자동차의 전력공급까지 무선전력전송 기술은 여러 가지 산업 분야로 확대되고 있다.

무선전력전송 기술은 사용 용도 및 부품기술 등의 발전에 따라 다양한 방식이 연구되고 있다. 대표적인 무선전력전송 기술은 전력을 전달하는 방식에 따라 자기유도방식(inductive coupling WPT), 자기공진방식(magnetic resonant WPT), RF 방식(radio-frequency WPT) 등이 있다. 자기유도방식과 자기공진방식은 기본적으로 송수신단 간의 자기장 결합에 의해 전력이 전달되는 유사 구조이므로 자기장 방식으로 통합 분류하기도 한다. 자기유도방식은 송신부와 수신부 코일 간의 자기유도를 이용한 방법으로 송수신부 코일 간 정확한 정렬이 필요하므로, 수 mm 수준의 근거리 전력전송에 적합하다. 자기공진방식은 자기유도방식과 시스템

구성이 기본적으로 유사하지만, 송신부와 수신부 코일에 매칭회로를 이용해 공진주파수를 일치시켜 수 cm ~ 수 m 수준의 근거리 전력전송에 활용될 수 있다. 이러한 자기장 방식은 높은 전력전송 효율을 갖는 장점이 있으나 전력전송 거리의 한계가 존재한다. RF 방식 무선전력전송은 무선통신 방식과 동일한 전자파의 복사 효과를 이용하여 전력을 전달하는 방법으로 자기장 방식에 비해 다소 효율이 떨어지지만 원거리 전력전송에 유리한 방식이다. 원거리 무선전력전송에 대한 시장의 요구가 지속되고 있어 다양한 방식의 RF 방식 무선전력전송에 대한 연구가 지속되고 있으며, 배열 안테나를 이용하여 안테나 이득 증가를 통한 충전 거리를 확보하는 것이 핵심 방법 중 한 가지이다.

▶ 제1절 RF 방식 무선전력전송 기기

RF 방식 무선전력전송기술은 사용 주파수에 따라 시스템 특성 및 성능이 결정되므로 용도 및 기술에 따라 다양한 형태의 기기들이 개발되고 있다.

미국의 Energous 사는 ISM 대역 (Industrial,

Scientific and Medical band)인 5GHz 대역 주파수를 이용하여 근거리 무선전력전송 기술을 시작하였고, 2018년 이후 900MHz 대역을 활용한 RF 방식 무선전력전송 기기를 개발하고 있다. 특히 최대 4.6m 거리에서 배터리를 충전할 수 있는 WattUp RF 기술을 개발하였고, 이를 이용해 시스템 성능에 따라 무선충전 수신구역에서 최대 12개 기기를 충전할 수 있는 기술을 선보였다. 그리고 소비자 안전 및 규제요구 등을 반영한 상용화를 위해 1W, 5.5W, 및 15W 무선전력전송 송신 기기 등에 대한 Part 18 FCC 인증 기기를 연속 발표하고 있다 [1][2].

미국의 Ossia 사는 ISM 대역인 2.4GHz와 5GHz 대역 주파수를 사용하여 최대 1W의 전력을 모바일 기기로 전송할 수 있는 천장형 무선전력전송 시스템인 Cota 기술을 개발하였다. Cota 기술은 약 9m 거리에서 1W RF 에너지를 전송할 수 있으며, 이 기술은 수신부에서 방사하는 비콘(beacon) 신호를 이용하여 송신부 위치를 파악하여 무선전력을 전송하는 기술이다 [1][3].

이스라엘의 Humavox 사는 웨어러블, IoT, 가전제품, 보청기를 포함한 헬스케어 기기를 위한 RF 방식 무선전력전송 기기를 개발하고 있다. Humavox의 자체 하드웨어 플랫폼인 ETERNA를 통해 무선전력을 전송할 수 있다 [1].

대한민국의 Warp Solution 사는 900MHz 대역부터 밀리미터파 대역까지 다양한 주파수 대역에 대한 RF 방식 무선전력전송 기술을 개발하였으며 무선전력전송 관련 RF 전력증폭 패키지 및 모듈, 무선전력전송용 정류 다이오드 등을 핵심기술을 자체개발하여 무선전력전송 기기에 적용하였다. 특히 900MHz 대역에 대하여 다중제품 충전, 특정공간 충전 등 다양한 형태의 RF 방식 무선전력전송 기기를 지속적으로 개발하고 있다 [1][4].

제2절 RF 방식 무선전력전송 방식

무선전력전송 방식의 표준화가 수립 중인 상황에서 다양한 RF 방식의 무선전력전송 기기들이 개발됨에 따라 국제전기표준회의(IEC: International Electrotechnical commission)에서 IEC TR 63377 ED1에서 대표적인 RF 방식 무선전력전송 시스템 형태를 정의하였다 [5]. IEC TR 63377 ED1에서 정의한 RF 방식 무선전력전송 시스템 종류는 전방향 빔방식 무선전력전송 (wide beam WPT), 공간 다이버시티를 이용한 무선전력전송 (space diversity WPT) 및 집중 빔방식 무선전력전송 (narrow beam WPT)의 세 가지로 나누어진다. 전방향 빔방식 무선전력전송 기술은 전방향으로 방사하는 안테나를 활용하여 무선전력전송 송신기기 주변에 있는 다수의 기기에 전력을 전송할 수 있는 시스템이다. 제한된 전력을 전방향으로 전달하기 위해서는 안테나 방사패턴이 전방향 (omni-direction)으로 형성되어야 하므로 밀리미터파와 같이 높은 주파수보다 6 GHz 이하의 낮은 주파수를 적용하는 시스템이 대부분이다. 이 시스템은 전방향 전력전송이 가능하므로 근거리에서 있는 다수의 사용자가 동시에 서비스를 사용할 수 있다.

공간 다이버시티를 이용한 무선전력전송 기술은 실내공간과 같이 밀폐된 장소에서 전자기장의 반사효과를 활용하여 다중의 수신경로를 만들어 전력전송의 효율을 높여주는 방식이다. 무선전력전송 송신신호에 대하여 사용자가 가진 수신기기는 비콘 신호를 주기적으로 전송하여 송수신 링크를 형성하고 무선전력신호를 전달하는 방식이다. 이 시스템은 다중경로를 이용하여 무선전력전송의 효율을 높일 수 있으나 단일 사용자에 대한 서비스만 가능하다.

집중 빔방식 무선전력전송 기술은 원거리에서 있는

사용자 기기를 무선전력전송 하기 위해 배열 안테나를 이용하여 특정 방향의 안테나 이득을 집중시키는 방식을 사용한다. 필요에 따라 배열 안테나를 구성하는 각각의 안테나 요소에 위상을 조정하여 방사패턴의 빔을 원하는 방향으로 변화시킬 수 있다. 주파수가 낮은 경우 안테나 및 시스템의 크기가 증가하므로 밀리미터파와 같이 높은 주파수를 활용하는 시스템에서 많이 사용되고 있다. 집중 빔방식 무선전력전송 시스템의 경우 전력신호는 매우 크지만 빔폭이 매우 좁아 단일 사용자에게만 서비스만 가능하다. 밀리미터파를 이용하여 무선 전력전송 시스템을 구성하는 경우 자유공간 경로손실에 대한 충분한 고려가 필요하다.

▶ 제3절 RF 방식 무선전력전송 기술 인체영향 표준화 동향

무선전력전송 기기는 상당히 넓은 응용 분야에서 요구되고 있으므로 무선전력전송 기기의 상이한 주파수 대역, 기기 구조 및 충전 환경에 따른 전자파 인체 노출량 평가방법 및 제도가 필수적이다. 이를 위해 국제 무선전력전송 기술단체인 WPC (wireless power consortium), Airfuel alliance 등에서는 무선전력전송 방식에 따른 기기 간 호환성 확보를 위한 기술 검토 및 제안을 주로 하고 있으나, 무선전력전송 출력 효율을 높이는 방향으로 논의 중이므로 무선전력전송방식에 따른 차별화된 인체 영향 평가 기준 검토가 필요하다. 국제전기표준회의(IEC) 등에서 IEC 61980-1/ IEC 63195/ IEC TC106 등 많은 표준화 연구그룹을 개설하여 다양한 방식의 무선전력전송 기술에 대한 전자파 인체노출량 평가방법을 연구하고 있다. 특히 RF 방식 무선전력 전송 기기에 대한 인체영향 평가에 대한 표준화에

대한 구체적인 연구는 계속 진행 중이며, 빠른 무선전력전송 기술의 대중화 및 적용 분야의 확장으로 인해 표준화의 범위 및 기준에 대한 정의가 제안되었다. 특히 IEC TR 63377 ED1에서 인체영향 평가의 표준화에 대하여 적용 지표 및 적용 기술 등을 정의하고 있으며, RF 방식 무선전력전송 기기에 대한 인체영향 평가방법 연구를 위해 많은 부분을 유사 주파수 대역을 사용하고 있는 무선통신 기기의 인체영향 표준을 참고하고 있다[5]. IEC TR 63377 ED1이 참고하고 있는 무선통신 기기 관련 표준화 문서는 국제전기표준회의(IEC) 및 미국전기전자학회(IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers) 표준 중 IEC/IEEE 62209-1528 ED1, IEC TR 63170은 무선통신용 모바일 기기, IEC/IEEE 62232 ED2는 무선통신용 기지국, IEC/IEEE 62704-1/2/3/4는 무선통신 기기의 인체영향 모의해석에 대한 표준을 나타내며, 대부분의 무선통신 표준이 전자파 흡수율(specific absorption ratio: SAR)과 전력 밀도(power density: PD) 및 전기장/자기장 등을 평가지표로 활용하고 있어 RF 방식의 무선전력전송에도 동일하거나 유사한 평가지표 적용을 검토하고 있다. 다만 무선통신 기기의 형태에 비해 RF 방식의 무선전력전송 기기의 형태 및 송신 출력 등이 상당히 높아질 가능성이 있어 관련 연구의 추가 지속이 필요하다.

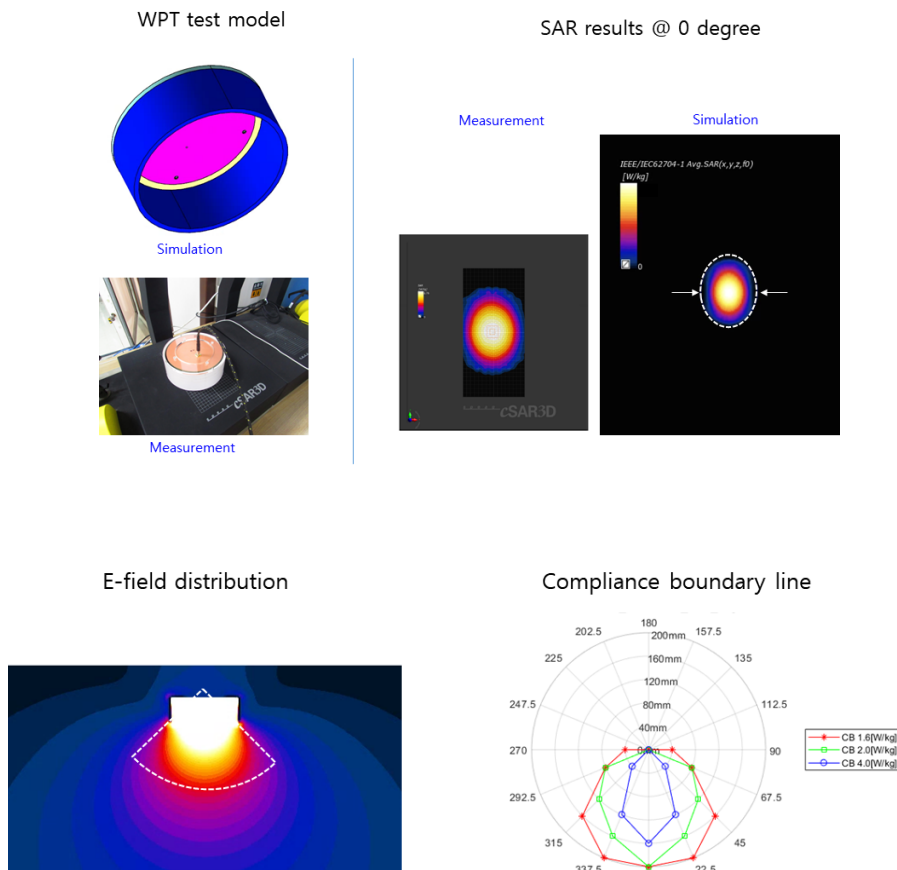
국제전기통신연합(International Telecommunication Union : ITU) 산하 ITU-R (ITU Radiocommunication Sector)에서 RF 방식 무선전력전송 기기의 시스템 구성 및 인체 영향등과 같은 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히 RF 방식 무선전력전송 시스템 구성을 위해서는 사용 주파수에 따라 시스템의 크기 및 활용방법이 달라지므로, 주파수 관련된 국가별 기관별 논의가 지속되고 있다.

RF 방식 무선전력전송 기기의 종류 등이 제한적이므로 ITU-R에서는 7개의 RF 방식 무선전력전송 시스템을 예시로 하고 있다 [6]. 7개 시스템의 사용 주파수 대역은 920MHz, 2.4GHz, 5GHz, 61GHz로 총 4종류이며, 24GHz 대역 시스템에 대한 연구도 진행 중이다. 국제비전리방사보호위원회(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection :ICNIRP) 기준 주파수 구분에 의해 상용 통신 주파수 대역과 유사한 920 MHz, WiFi 대역인 2.4GHz, 5GHz는 안테나 방사특성 및 인체 투과 특성을 고려하여 전자파 흡수율(SAR), 24GHz,

61GHz는 안테나 빔포밍 특성 및 인체 반사 특성을 고려하여 전력 밀도(PD)를 무선전력전송기기의 인체 노출량 기준으로 검토가 필요하다 [7].

제4절 RF 방식 무선전력전송 기기의 전자파 인체 영향 해석

RF 방식 무선전력전송 기기는 매우 다양한 형태, 다양한 주파수 및 사용자 조건을 예상할 수 있다. RF 방식 무선전력전송 기기의 송신 매개는 전자파



[그림 7-1] RF 방식 무선전력전송 기기에 대한 인체영향 해석 예시 (전자파흡수율)

이므로 동일 매개체를 이용하여 통신 정보를 전달하는 무선통신 기기의 전자파 인체영향 기준을 바탕으로 해석하는 것은 의미가 있다. 그림 7-1은 개구면을 갖는 데스크 스탠드 형태의 RF 방식 무선전력전송 기기 형상과 전자파 흡수율에 대한 결과예시를 나타낸다. 동작 주파수는 ITU-R 예시 주파수 중 가장 낮은 920MHz 대역을 사용하였고, 해당 주파수에 대한 전자파흡수율을 모의실험 및 측정을 진행하였다. RF 방식 무선전력전송 기기의 인체영향에 대한 표준 및 평가기준은 현재 연구 중이며 [그림 7-1]의 결과는 하나의 예시이다 [8]. 무선통신 기기의 전자파흡수율 측정은 기기를 중심으로 6면을 측정한 후 가장 높은 SAR 결과를 대푯값으로 지정한다. 그러나 RF 방식 무선전력전송 기기의 경우 무선통신 기기에 비해 입력전력이 매우 높으므로 하나의 대푯값으로 표현하기보다는 무선전력전송 기기 주변의 SAR값이 기준값 대비 상회하는 구간을 표현하는 계산 안전 경계거리 (CB line: compliance boundary line)를 이용하는 방법도 유의미하다. CB line의 형태는 무선전력전송 기기의 전기장 분포형상과 유사하다. 무선통신 기기의 사용 입력전력 대비 RF 방식 무선전력전송 기기의 입력전력은 상당히 높은 수준이기 때문에 실제 전자파 인체 노출량의 평가를 위해서는 다양한 관점에서의 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] TTA technical report, Radio frequency beam wireless power transfer/transmission(WPT) for mobile devices, November, 2019
- [2] <http://energous.com>
- [3] <http://www.ossia.com>
- [4] <https://warpsolution.com>
- [5] Procedures for the assessment of human exposure to electromagnetic fields from radiative wireless power transfer systems - measurement and numerical simulation methods (Frequency range of 30 MHz to 300 GHz), IEC TR 63377 ED1, 2021
- [6] ITU-R, Impact studies and human hazard issues for wireless power transmission via radio frequency beam, Report ITU-R SM.2505-0, 2022
- [7] ICNIRP, "ICNIRP guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100kHz to 300GHz)", Health Phys, 118(5), 483-524, Mar. 2020
- [8] 국립전파연구원, 무선전력전송기기등 전자파인체노출량 평가기술연구, 2023

제8장

광센서 기반 전자파 인체노출량 측정 기술 연구

주영준 부장
(주)이레테크 전자파
솔루션2사업부)
홍영표 박사
(한국표준과학연구원)

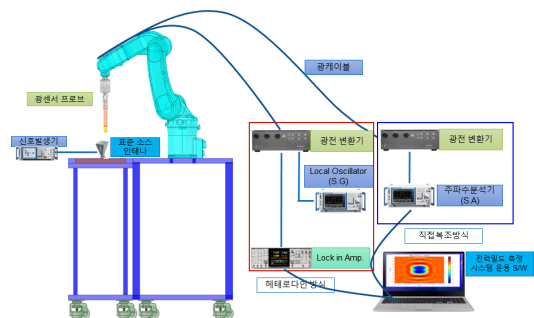
제1절 광센서를 이용한 전자파 인체 노출량 측정 시스템

5G 통신 상용화와 6G 통신의 개발에 따라 주파수는 Sub 6 GHz를 넘어 점점 높아지고 있다. 6G 통신 개발 초기에는 mmWave대역 및 테라헤르츠 대역이 6G통신 주파수로 거론되었으나, 최근에는 어퍼미드밴드(7~ 24 GHz) 대역이 6G 통신 주파수로 각광을 받고 있다. 이동통신 기술과 IoT 기술의 발달로 이동통신 단말기의 숫자가 기하급수적으로 늘어남에 따라서 이동통신 기기에 의한 전자파 인체 노출에 대한 우려 또한 커지고 있다. 특히 6 GHz 이상의 전자파 노출에 대한 인체 노출에 대한 평가는 전력밀도로 제한하고 있으며, 국내의 경우 전력밀도를 측정하는 기술을 보유하고 있지 않다. 기존 전자파 인체노출량 측정 기술의 경우 다이폴 안테나 기반의 센서를 이용한 측정 기술로 주파수가 높아짐에 따라서 센서의 물리적 한계에 이르렀고, 금속 성분을 포함한 다이폴 안테나로 인한 왜곡 현상으로 정확한 측정값을 측정하기 어렵다.

본 기고에서는 광센서를 이용하여 6 GHz 이상의 주파수대역에서 전자파 인체 노출량 측정 기술에 대한 국내 연구 동향을 소개하였다.

제1절 광센서를 이용한 전자파 인체 노출량 측정 시스템

광센서를 이용한 전자파 인체노출량 측정 시스템은 그림 8-1과 같이 전기광학 센서, 광 신호를 전기신호로 변환해 주는 광전 변환기, Lock in Amp. (또는 스펙트럼분석기), 로봇 암, 전력밀도 측정 운용 S/W로 구성되며, 광 신호를 전기신호를 변환하는 광전 변환기의 방식에 따라서 헤테로다인 복조 방식과 직접 복조 방식으로 나누어진다. 헤테로다인 복조 방식은 Lock in Amp를 이용하여 전기장의 크기와 위상을 동시에 측정할 수 있으나, 직접 복조 방식은 스펙트럼 분석기를 이용하여 전기장의 크기만 측정이 가능하다. 지금부터 광센서 기반 전자파 인체노출량 측정 시스템의 핵심 요소의 개발 기술 현황에 대하여

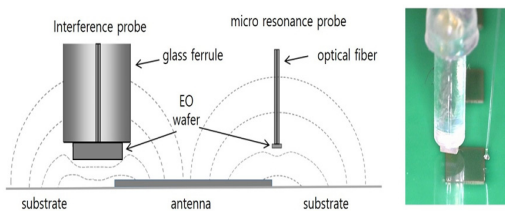


[그림 8-1] 광센서 전자파인체노출량 측정시스템 구성도

설명하고자 한다.

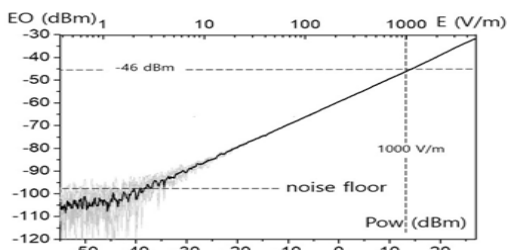
■ 전기광학 센서

전기광학 센서는 구조와 형태에 따라서 완전 유전체형 센서와 유도전극형 센서로 나누어진다. 완전유전체형 센서는 그림 8-2와 같이 초소형으로 제작이 가능한 장점을 가지고 있지만 센서의 감도가 낮은 단점이 있다.

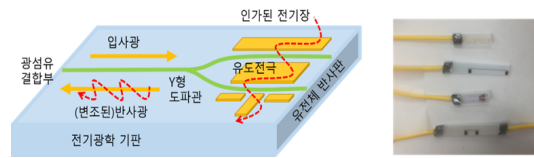


[그림 8-2] 완전유전체형 광센서

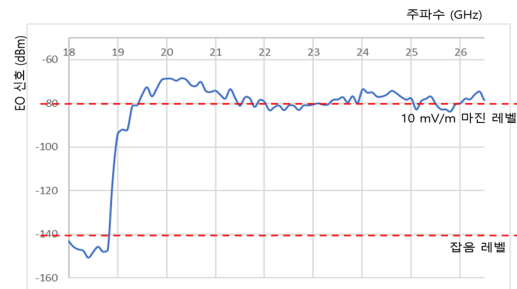
그림 8-3과 같이 완전유전체형 센서의 최소 측정 가능 전기장 감도는 수 V/m이다. 전기광학 센서의 감도를 10 mV/m까지 높이기 위해서 그림 8-4와 같이 유도전극형 센서가 설계 제작되었다. 그림 8-5와 그림 8-6은 K 밴드(18~26.5 GHz)와 Ka 밴드(26.5 ~ 40 GHz)에서의 유도전극형 센서의 감도를 나타낸 것이다. 그림 8-5와 8-6에서 센서의 18~ 30 GHz까지의 감도가 10mV/m까지 측정이 가능한 것을 알 수 있다.



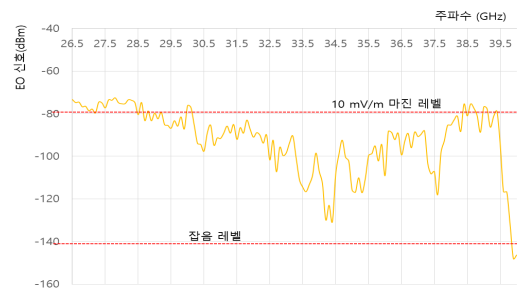
[그림 8-3] 완전유전체형 광센서의 감도 및 선형성



[그림 8-4] 유도전극형 광센서



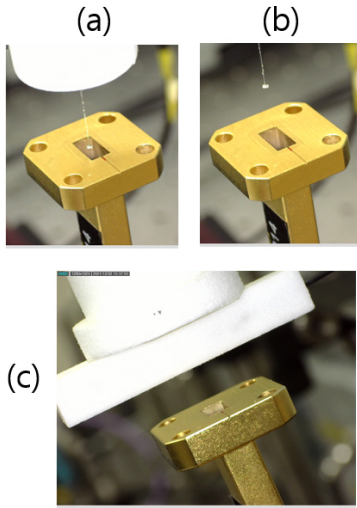
[그림 8-5] 유도전극형 광센서의 감도(@ K 밴드)



[그림 8-6] 유도전극형 광센서의 감도(@ Ka 밴드)

□ 전기광학 센서의 교정 기술

광센서의 교정을 위한 표준 전기장 발생장치는 그림 8-7과 같이 OEW(Open Ended Waveguide)를 이용하여 센서의 크기가 0.3 mm 이내인 완전유전체 방식의 μ -EO 센서를 OEW의 개구면에서 임의의 강도로 발생시킨 절대 전기장을 측정하여 교정한다. 이후 OEW 개구면에서 1 파장 이격된 거리에서 교정된 동일 센서를 이용하여 방사된 절대 전기장 세기를 측정하고, 동일 위치에서 개발된 고감도 유도전극형 센서를 교정하는 2단계 교정법을 사용한다.



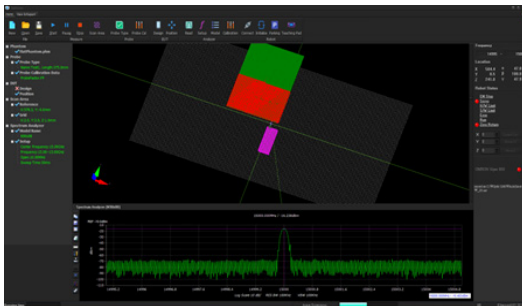
[그림 8-7] 광센서 교정 절차 (a) WR-28 개구면의 μ -EO 센서 (b) 개구면 상의 이격된 μ -EO 센서 (c) 동일 이격 거리의 유도전극형 센서

교정된 전기광학 센서로 측정된 임의의 전기장 세기는 아래와 같은 공식으로 계산될 수 있다.

$$\text{전기장 세기} \left[\frac{V}{m} \right] = \frac{\text{측정된 크기}(\text{dBm}) - \text{기준 전기장 세기 일때 측정된 광센서 감도}(\text{dBm})}{20}$$

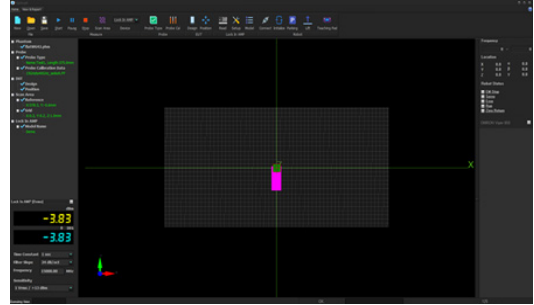
■ 전력밀도 측정 운용 S/W

전력밀도 측정을 위한 운용 S/W는 그림 8-8과 그림 8-9와 같이 헤테로다인 복조 방식과 직접복조

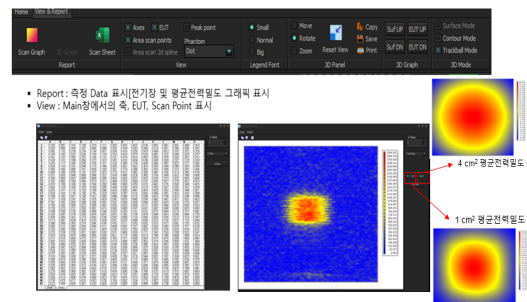


[그림 8-8] 직접복조방식 전력밀도 측정 운용 S/W 메인 화면

방식을 모두 측정할 수 있도록 개발되었으며, 측정결과 화면에서 그림 8-10과 같이 측정된 전기장 세기와 1cm^2 및 4cm^2 평균전력밀도를 데이터와 그래프로 나타나게 설계되었다.



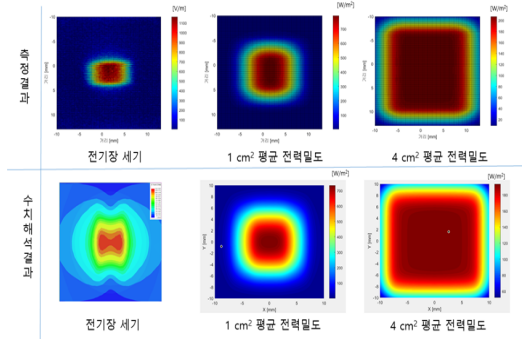
[그림 8-9] 헤테로다인방식 전력밀도 측정 운용 S/W 메인 화면



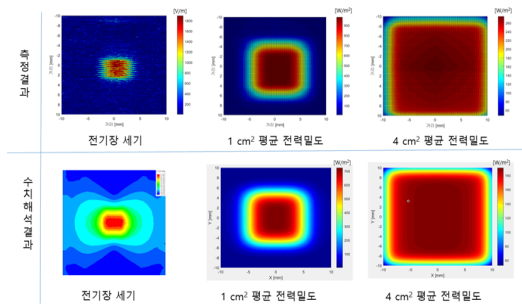
[그림 8-10] 전력밀도 측정 운용 S/W 측정결과화면

■ 평균전력밀도 측정

그림 8-11과 그림 8-12는 완전유전체 센서를 이용하여 도파관의 개구면에서 20 GHz와 30 GHz에 대하여 전기장, 1cm^2 , 4cm^2 평균 전력밀도를 측정하고 수치해석결과와 비교하여 나타낸 것이다. 그림 8-11과 그림 8-12에서 평균전력밀도는 수치해석결과와 비교하여 30 GHz에서 약 1.46 dB 오차가 나타난다.



[그림 8-11] WR42 도파관 개구면에서의 전기장 및 평균전력밀도 측정 결과 (@ 20 GHz, 입력전력 32 mW)



[그림 8-12] WR28 도파관 개구면에서의 전기장 및 평균전력밀도 측정 결과 (@ 30 GHz, 입력전력 32 mW)

전기광학 센서를 이용한 전자파 인체노출량 측정 기술은 국내에서 처음 개발하고 있는 기술이다. 초기 개발 단계이지만 광센서의 성능 향상을 통하여 전자파 인체노출량 측정기술의 상용화를 위한 기술 개발이 이루어질 예정이다.

Acknowledgement

본 연구는 과학기술정보통신부, 국립전파연구원 및 정보통신기획평가원의 정보통신·방송 연구개발 사업의 일환으로 수행하였음.

[2021-0-00228, 100 GHz 대역 광센서 기반 전자파인체노출량 측정 시스템 개발]

참고문헌

- [1] David M. Pozar, Microwave Engineering 3rd edition, 2004.
- [2] ICNIRP 2020, Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 KHz to 300 GHz), 2020
- [3] IEC/IEEE 63195-1, Measurement procedure for the assessment of power density of human exposure to radio frequency fields from wireless devices operating in close proximity to the head and body- Frequency range of 6 GHz to 300 GHz, 2022.

제9장

생활환경 전자파 측정 현황

진용화 과장
(한국전파진흥협회)

제1절 서론

제2절 생활환경 전자파 측정 현황

제3절 생활환경 전자파 측정 주요 내용

제4절 결론

▶ 제1절 서론

코로나 팬데믹의 종료로 국내 주요 기업들은 기존 진행하던 재택근무 비중을 크게 줄였다. 이에 따라 대중교통을 이용하는 직장인이 늘면서 지하철 및 KTX 등 고속 열차 내부 전자파에 대한 인체영향에 관심이 증가하는 추세이다. 또한 일부 환경시민 단체에서 휴대용 선풍기나 대중교통 내 전자파 수치가 기준치를 훨씬 웃도는 내용의 보고서를 발간해 이와 맞물려 국민들의 관심과 우려가 더욱 높아지고 있다. 실제 전자파는 세계보건기구(WHO) 산하의 국제 암연구소(IARC)에서 정한 발암물질이긴 하지만 발암물질 중 2B군으로 분류되어 있다. 이것이 의미하는 바는 암을 일으킬 수 있지만 이를 근거할 만한 인체 연구 자료가 충분치 아닐 때 정하는 등급이다. 이와 같이 정보의 부재로 인한 전자파에 대한 막연한 두려움과 부정적 정보의 확산을 완화하며 올바른 정보제공의 일환으로 대중교통 내 생활환경 전자파 측정 현황에 대해 소개하고자 한다.

휴대용 선풍기, 버스, 지하철, KTX 등으로 이들은 모두 환경시민단체에서 전자파에 대해 우려를 표명한 것들이다. 과기정통부는 '22년 8월에 휴대용 선풍기에 대한 전자파 측정 결과를 공개하였고, '23년 9월에는 주요 대중교통에 대한 전자파 측정 결과를 공개하였다. 시민단체에서 주로 문제를 제기한 것은 대중교통과 같이 사람이 일정 시간 머무는 공간에서의 전자파의 측정값이 인체보호 기준치보다 높아 백혈병 및 암을 유발할 수 있다는 내용이다. 인체에 영향을 줄 수 있는 전자파의 기준치를 다르게 적용하여 생긴 문제로 국내에서 권장하는 기준과 크게 달랐다. 국내 인체보호 기준은 극저주파(Extremely Low Frequency) 대역중에서도 전자제품의 경우 전자파 인체보호 기준인 833 mG로 국제비전리복사보호위원회(ICNIRP)에서 권장한 기준을 국내기준으로 채택하여 사용하고 있다. 휴대용 목·손 선풍기에서 발생하는 전자파는 인체보호기준 2.2 ~ 37 % 수준으로 발표하였고, 버스 및 지하철 등 대중교통에서 발생하는 전자파는 0.25 ~ 8.97 % 수준으로 인체보호 기준에 충족한 것으로 발표하였다.

▶ 제2절 생활환경 전자파 측정 현황

생활환경 전자파에서 주로 이슈가 되었던 것들은

▶ 제3절 생활환경 전자파 측정 주요 내용

생활환경 전자파 측정 대상 중 일반인이 많이

머무는 지하철 및 고속 열차(KTX, SRT) 중심으로 측정한 내용을 소개한다. 대중교통 중에서 선호도가 가장 높은 것은 지하철로 '23년 9월 발표한 주요 대중교통에 대한 전자파 측정 결과는 수도권 1호선, 2호선, 5호선, 8호선, 경의중앙선, 신분당선에서 측정한 결과이다. 측정 위치는 사람과 오래 맞닿아 있는 바닥과 좌석, 좌석 앞 1.5 m 높이에서 측정하였으며, 바닥-좌석-좌석 앞 1.5 m 높이순으로 측정값이 높게 나타났다. 측정한 노선 중 가장 높은 수치를 나타낸 노선은 1호선으로 신도림역과 영등포역이 가장 높았으며, 인체보호기준 대비 각각 8.97 %, 4.59 %의 수치를 나타냈다. 다음으로 KTX는 역과 역 사이의 구간이 길고 이동 시간이 오래 걸려

구간별 측정을 진행하였다. 측정 노선은 서울-광명 구간, 광명-천안아산 구간, 천안아산-오송 구간 순으로 측정하였고, 측정 위치는 지하철과 같이 사람과 오래 맞닿아 있는 곳으로 바닥, 좌석, 테이블 위를 측정 위치로 선정하였다. KTX는 측정 위치와 구간별 인체보호기준 대비 노출량 차이가 크지 않았다. 가장 높았던 구간은 광명-천안아산 구간으로 인체보호기준대비 노출량은 0.25 %이다. 나머지 구간들도 이보다 작지만 큰 차이를 나타내진 않았다. 마지막으로 SRT의 측정은 KTX와 비슷하므로 구간과 구간을 측정하였으며 구간은 오송-천안아산 구간, 천안아산-평택지제 구간, 평택지제-수서 구간 순으로 진행했다. 측정지점은 바닥, 좌석, 테이블 위로



[그림 1] 지하철 바닥-좌석-좌석앞 1.5 m 높이에서의 전자파 측정



[그림 2] KTX 및 SRT의 객실내 전자파 측정

KTX와 동일하게 측정을 진행했다. 가장 높은 구간은 평택지제-수서 구간으로 인체보호기준 대비 노출량은 0.43 % 수준으로 측정되었으며, 테이블 위 지점에서 측정되었다. SRT도 KTX와 유사하게 구간별 큰 차이를 나타낸 구간은 없다.

▶ 제4절 결론

전자파 인체보호기준 대비 노출량이 가장 큰 곳은 지하철 1호선이 8.97 %로 가장 높았고 SRT는 0.53 %, KTX는 0.25 % 순으로 노출량이 낮았다. 이는 모두 인체보호기준 대비 10 % 이하의 낮은 수치로 대중교통의 전자파가 인체에 끼치는 영향은 극히 제한적인 것으로 보는 게 타당할 것이다. '22년 서울시에서 발표한 대중교통 이용량은 하루평균 1,000 만건을 넘어섰다고 한다. '21년 대비 약 30 % 이상 증가한 수치로 코로나 팬데믹이 끝난 이후 가파르게 증가하는 추세이다. 이처럼 대중교통에서 발생하는 전자파영향에 대한 관심이 빠르게 증가할 수 있는 환경에선 잘못된 정보의 전달로 사회적 혼란을 야기 할 수 있다. 이와 같은 혼란을 줄이기 위해선 주요 대중교통의 전자파 인체 노출량을 주기적으로 확인하여 정확한 정보를 제공하는 등 적극적인 관리와 노력이 필요하다.

제10장 2023년 IEC TC106(전자기장의 인체 노출) 기술위원회 국제표준 개발 동향

오택규 책임
(한국정보통신
기술협회)

제1절 서론
제2절 TC106 국제표준화 동향
제3절 결론

제1절 서론

다변화 되어가고 있는 전자파 환경 속 신기술 개발 및 상용화가 활발히 진행되고 있는 시점이며, 산업계에서도 관련 기술에 대한 많은 상용 제품들과 기술 개발이 진행중에 있다. 새로운 기술이 도입되며, 기존에 우리가 사용하지 않고 있던 주파수 대역이 새로이 사용되고, 우리의 전파환경에 새로운 영향을 미치고 있다. 본격적으로 5G 이동통신과 WPT, 웨어러블기기가 점차 우리 생활과 밀접하게 위치하고 이에 대한 신규 주파수대역의 전파 이용이 급격히 증가 중이다. 우리 생활은 점점 더 다양한 주파수 대역에 대한 다중 전자파 생활권에 진입하고 있다. 이로 인해 전 세계적으로 전자파 인체 영향에 대한 관심도가 점차 증가하고 있으며, 동시에 이에 대한 불안감도 날로 커져가고 있다. 위와 같은 문제점을 해결하기 위해 국제표준화기구인 IEC(국제전기기술 위원회 : International Electrotechnical Committee)에서는 1999년 10월 전자기장 인체노출 기술 위원회인 TC(Technical Committee) 106을 설립하여 다양한 인체전자파노출 분야의 측정방법에 대한 국제표준을 개발 및 제정하고 있다. 최근 TC106에서는 저주파대역을 주로 사용하는 WPT

기술과 고주파대역을 사용하는 5G 이동통신 기술에 대해서 IEEE(미국전기전자학회Institute of Electrical and Electronics Engineers)와의 협력을 통해 인체보호 관점에서의 제품 측정방법에 대한 연구 및 표준화를 진행 중에 있다.

TC106은 2개의 WG(Working Group: 작업반)과 2개의 PT (Project Teams), 4개 MT(Maintenance Teams) 10개 JWG (Joint Working Groups)로 구성되어 있다[표 10-1참고]. IEC TC106 표준화에 참여하고 있는 국가는 우리나라를 비롯하여 총 40개국으로, 직접 표준화 작업에 참여할 수 있는 정식대표(P-member) 27개국, 단순 참가만 하는 참관자(O-member) 13개국으로 구성되어 있다. 의장은 Mr Michael Wood (AU)이며, 간사국은 독일이 수임 중이며, Matthias Meier (DE)가 수임하고 있다.

IEC/TC106회의는 정기적으로 국제총회 1회 및 메가미팅 2회등 매년 3회 대면 회의를 진행 중에 있으며, 산하 작업반 회의의 경우 수시 웹 미팅을 개최하여, 표준 개발 작업이 활발하게 운영이 되고 있다. 국내에서는 국립전파연구원을 필두로 산·학·연·관이 TC106 위원회에 참여하여, 우리나라의 의견 및 측정방법 연구 제안 등 대한 기고를 진행하고 있다.

〈표 10-1〉 IEC TC106 작업반 현황

작업반	작업반장(컨버너), 국적	작업반명
WG8	Mr Kenichi Yamazaki, 일본	전기, 자기 및 전자기장에 대한 전자파흡수율 측정방법
WG9	Mr Teruo Onishi, 일본	무선전력전송기기에 대한 전자파흡수율 측정방법
PT62764-1	Mr Marco KLINGLER, 프랑스	자동차 환경에서의 전자파 인체영향 측정방법
PT 63480	Mr Chris Rouse, 캐나다	RF 무선 전력 전송 시스템의 전자기장에 대한 인체 노출 평가: 측정 및 계산 방법 (30 MHz ~ 300 GHz)
JWG62209-3	Mr Jafar Keshvari, 핀란드	고속 SAR 측정 방법
JWG62704-1	Mr Andreas Christ, 스위스	FDTD 방법에 대한 SAR 해석
JWG62704-2	Mr Giorgi Bit-Babik, 미국	차량내장형 안테나의 방사량에 대한 FDTD 해석 방법
JWG62704-3	Mr Vikass Monebhurrun, 프랑스	휴대폰 SAR에 대한 FDTD 해석 방법
JWG62704-4	Mr Andreas Christ, 스위스	FEM 방법에 대한 SAR 해석
JWG 63184	Mr Akihiko Nojima, 일본	무선전력전송시스템의 전자파 인체노출
MT2	Ms Isabelle Magne, 프랑스	1Hz~100kHz 대역에서의 전자파흡수율 측정 방법
MT3	Mr Desmond Ward, 호주	무선국에 대한 전자파흡수율 측정 방법
MT62226-3-1	Mr Kenichi Yamazaki, 일본	2D모델링 수치해석
MT62233	Mr Uwe Kampet, 독일	가전기기에 대한 인체전자파 노출에 대한 분석
MT62311	Mr Bernd Jäkel, 독일	0~300GHz 전자기장범위에서의 인체노출 제한값 분석
JWG11	Mr Andreas Christ, 스위스 Mr John M Roman, 미국	머리, 몸에 근접 사용기기에 대한 전력밀도 수치 해석
JWG12	Mr Kai Niskala, 핀란드 Mr Teruo Onishi, 일본	머리, 몸에 근접 사용기기에 대한 측정 방법
JWG13	Mr Sami Gabriel, 영국 Mr Jafar Keshvari, 핀란드	SAR 측정절차 정의

제2절 TC106 국제표준화 동향

올해에는 Covid-19가 종료됨에 따라 대면회의로 총회가 진행되었다. 23년 10월 2일 ~ 6일 동안 영국 런던 BSI(British Standard Institution)에서 진행되었으며, 30개국 약 50명 정도가 참여하였다. 우리나라에서는 RRA, 삼성전자, LG전자, ETRI, RAPA, 이레테크, TTA 등 총 7명의 전문가가 참석하여 표준 개정에 대응하였다.

1. 단말기 전자파 인체영향 측정방법 관련 국제표준화 동향

'23년 주요 이슈는 프랑스에서 시행한 아이폰 12의 사후관리 결과가 SAR(특정 송출기로부터의 전자파 흡수율) 기준값을 초과하는 결과(제조사에서는 소프트웨어 업데이트로 관련 문제를 해결)가 도출되어 전자파의 인체 영향과 관련된 글로벌 이슈가 두드러진 해였다. 이러한 이슈를 해결하기 위해 IEC/TC106에서는 단말기 관련 전자파 인체 영향 측정방법과 관련하여 IEC 62209-1528 및 IEC 63195-1/2 표준을 제정했으며, 현재는 이를 개정하는 작업이 진행 중에 있다.

〈표 10-2〉 IEC TC106 총회 회의 일정

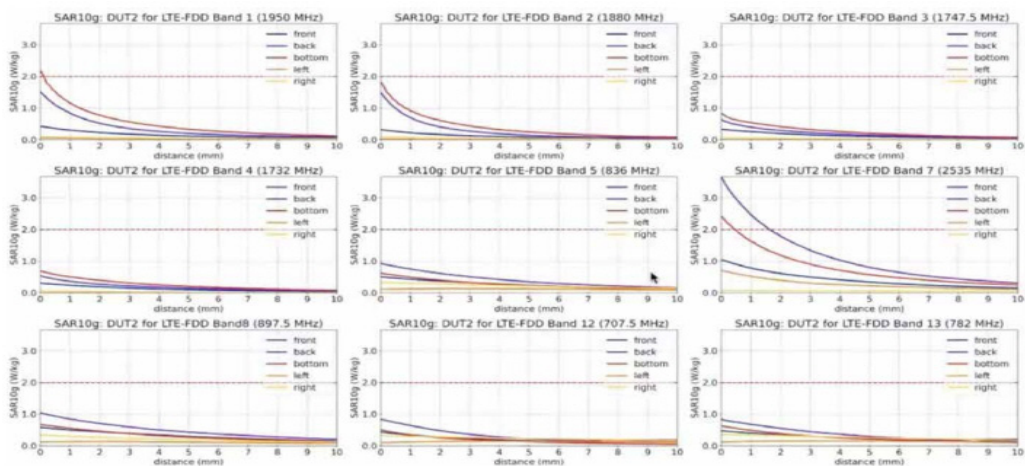
회의명	10월				
	2(월)	3(화)	4(수)	5(목)	6(금)
IEC/TC106 총회				0	
62209-3(고속SAR)	0				
JWG 13(정규SAR)		0			
MT 3(기지국)		0	0		
JWG 11/12(단말기)			0		
63480(WPT)					0
62704(수치해석)					0

특히, 단말기 관련 인체 영향에서 논의되고 있는 주요 사항 중 하나는 SAR 측정 시 측정 안테나와 모의인체 간의 이격거리를 조절하는 사항을 적용하기 위해 검증 작업을 각 나라에서 진행 중에 있다. 기존 표준에 명시된 이격거리는 15 mm로 되어 있으며, 이를 최대한 근접하여 측정하는 방법으로 변경하기 위해 논의 중이며, 프랑스에서는 SAR 전자파 흡수를 측정 거리를 0 mm로 하고 모의인체에 직접 접촉하여 측정하는 것을 표준으로 제안하였고, 스위스(IT'IS)에서도 약 20대의 휴대전화를 이용하여 0~10 mm까지 거리를 가변한 SAR 측정 결과를 발표하였다.

두 나라에서 제출된 자료에 따르면, 거리별 SAR 측정 결과에서 0 mm ~ 1 mm에서 가장 높은 SAR 측정값이 나타났으며, 결과를 검토한 TC106에서는 추가적인 표본 데이터가 필요하다 요청하여, 각 국에서는 차기 회의에서 관련 내용에 대한 측정 결과 자료를 검토할 예정이다.

* 0 mm 측정은 실제 SAR 측정시 모의인체의 두께 2 mm를 포함

이외에도 SAR 측정방법 개정을 위한 아이템은 아래와 같이 나누어 개발 중에 있다.



[0mm에서 높은 SAR이 발생하는 경우]

가. Hand SAR(AHG1)

- 최근 출시되는 단말기의 안테나 부분이 하단에 집중되어 있어, 손에 대한 SAR 측정 필요성이 대두되고 있으며, 이에 대한 측정방법을 개발하기 위해 TC106/JWG13에서는 AHG1을 구성하여 검토를 진행 중이다.
- Hand SAR 적용시, 휴대폰 사용 전력 및 측정거리에 대한 기준 검토가 더 필요하다는 의견이며, 관련 내용에 대해서는 지속적인 AHG1 회의를 통해 보완해 나갈 예정

- ▶ DUT가 음성통화 가능한 경우
- ▶ DUT의 송신 안테나가 하단에 있는 경우
- ▶ DUT의 Power level이 Voice Call > Body-worn인 경우
- ▶ 측정방법 관련하여 추가 및 제외사항은 MMWF(모바일 단말기 제조사 연합)과 협의하여 추가 진행

[손에 대한 전자파흡수율 측정 절차(안)]

나. Motion Sensor(AHG2)

- 단말기에 탑재된 Motion Sensor(자이로/그립/근접/모션 등에 따라 출력전력이 가변되는 현상이 있어, Sensor의 영향을 최소화 하기 위해 정규화된 측정방법 개발 중
- 단말기에 따른 모션 센서 모델, 데이터 시트 및 기타 관련 정보를 요구사항 등으로 정하고, 측정된 각 무선 모드 구성 및 안테나에 대해 감지된 안정 및 이동 조건에서 수행된 전력 측정
- 실제 사용 상태시 모션 센서 영향에 따른 출력 변화 검토 예) 의자에 앉기, 서기, 걷기, 달리기, 운전 중 등의 상황별 동작 검토
- 모션센서 동작시 다양한 요구 조건과 환경에 따른 변화가 예상됨에 따라 이에 대한 확실한 검증 방법이 필요하다는 의견이 제안되었으며, AHG2에서 대응하고 차기회의에서 결과 발표 추진

- 모션 센서 적합성 테스트 절차 및 모션 센서 검증 부록에 대한 내용을 개정 CD에 포함키로 함

다. Sub 6-GHz team activity status update(광대역 측정방법)

- 5G 이동통신의 3.5 GHz 대역과 기존 LTE대역 측정을 동시에 진행 할 수 있는 광대역 안테나 표준 개발 중

라. Time Averaging SAR(시간평균 SAR)

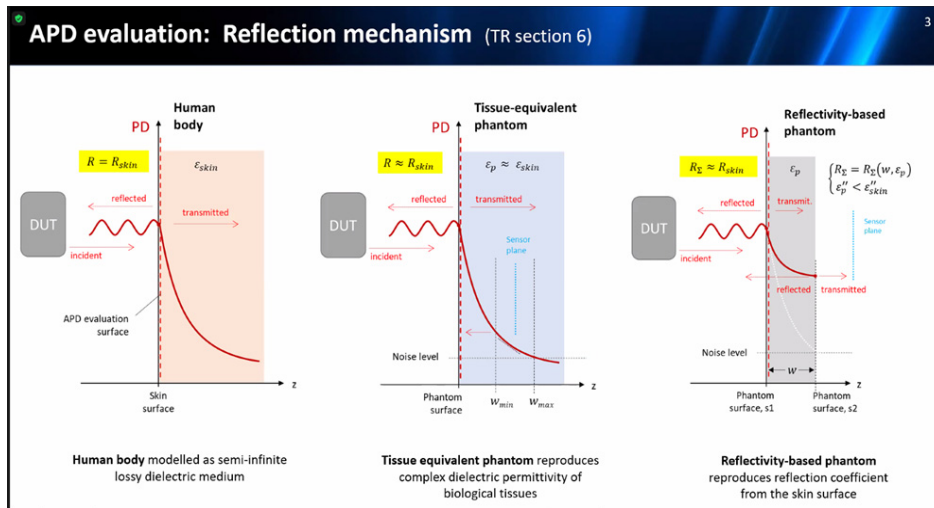
- 현재 SAR은 단일 시간 일정 구역에서의 전자파흡수율 값을 측정하고 있으나, 휴대폰을 사용하는 평균시간동안의 SAR 측정값을 적용하기 위한 신규측정방법 반영 추진

2. IEC TC106 JWG11/12(mmWave 대역에 대한 측정방법) 표준화

IEC TC106 JWG11/12 작업반에서는 5G 이동통신에서 사용 중인 mmWave 주파수 대역에 대한 전자파 인체영향 측정방법에 대한 표준을 개발하기 위해 구성된 작업반이다. 5G 이동통신의 mmWave 주파수의 경우 표피효과로 인해 인체에 깊이 침투하지 못해 기존의 SAR 측정방법으로는 측정이 어려워 피부 표면적에 입사되는 전력의 양 전력밀도(PD:Power Density)를 측정하기 위한 방법을 사용 중에 있다. '21년 IEC/IEEE 63195-1(수치해석)/2(실측)에 대한 표준을 제정하였으며, 기존 방식을 보완하기 위한 측정방법을 개발 중에 있다.

가. Absorbed Power Density(APD)* 측정방법 검증 결과 검토

- Reflectivity based phantom 기반 APD 측정방법 연구결과를 소개하고 개발 중인



[Reflectivity based phantom 기반 APD 주요 발표 내용]

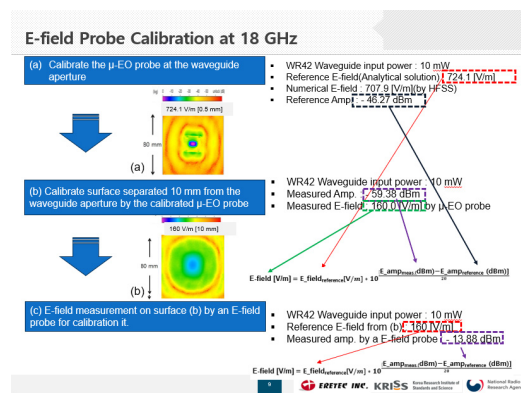
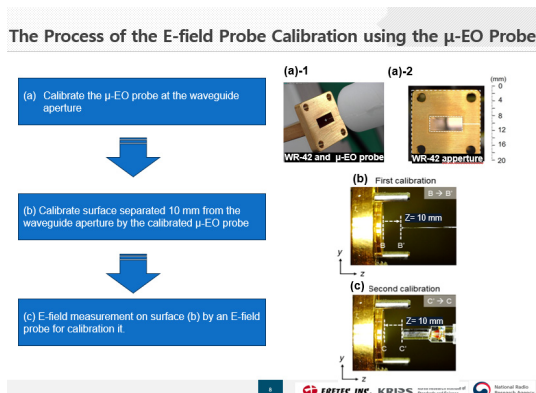
측정결과 검토

- 60 MHz 4x4 배열 안테나와 원형 혼 안테나를 이용하여 반사되는 전자기장을 포함한 흡수전력밀도 수치해석 결과와 측정결과 비교
 - ▶ 4x4 배열 안테나는 1 mm, 2 mm 거리에서 반사되는 전기장을 반영한 APD 계산 및 측정
 - ▶ 원형 혼 안테나는 0.5 mm, 1 mm 거리에서 반사되는 전기장을 반영한 APD 계산 및 측정
 - ▶ 측정된 APD와 수치해석 결과 사이에 최대 3.6% 이내에서 서로 일치함

※ 이때 안테나로부터 방사되는 전기장을 APD로 변환하는 것은 Back propagation(원거리에서 근거리 값을 추론)으로 구함

이와 더불어 우리나라는 6GHz 이상의 주파수 대역에서 μ -EO 프로브를 이용한 E-field 프로브 교정 방법 기고하였음 18 GHz에서 WR-42 도파관 내에서 μ -EO프로브를 이용한 E-field 프로브의 교정 방법에 대하여 발표함

- E-field 프로브의 물리적 한계로 인하여 도파관



[E-field Probe Calibration Method Using the i-EO Probe above 6 GHz]

내에서의 전기장 측정이 어려워 μ -EO 프로브를 이용하여 도파관 내에서 프로브를 교정한 후 교정된 프로브를 이용하여 임의의 필드를 교정하고 교정된 필드에서 E-field 프로브를 교정하는 방법을 제안함

- ▶ WR-42 도파관 내의 전기장 세기에 대하여 Analytic solution과 numerical solution 결과 비교
- ▶ WR-42 도파관 내에서의 μ -EO 프로브 교정 수행
- ▶ WR-42 도파관 개구면으로부터 10 mm 이격된 지점에 대하여 μ -EO 프로브를 이용하여 필드 교정 수행
- ▶ WR-42 도파관 개구면으로부터 10 mm 이격된 교정된 필드에서 E-field 프로브 교정 수행

- 우리나라에서 발표한 안테나 교정방법 프랑스 (CNFR)과 업무협의를 통해 추가 검증 및 추후 표준 적용에 대한 검토 논의가 진행될 예정

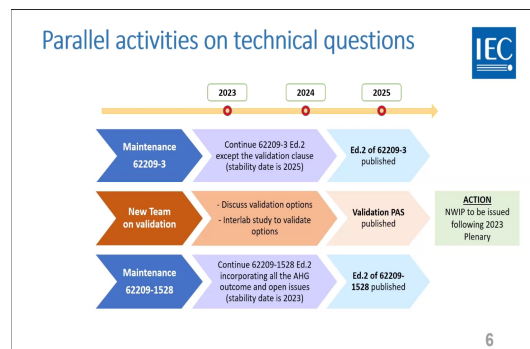
3. 고속 SAR 측정방법(IEC/IEEE 62209-3) 표준 개발

IEC TC106 JWG62209-3에서는 기존 정규 SAR의 시간문제를 해결하기 위해 이를 간소화한 고속 SAR 측정방법을 개발 중에 있다. 현재 고속 SAR 관련 표준은 IEC/IEEE 62209-3으로 제정되어 있으며, 이를 구체화하기 위한 개정 작업 중에 있다. 현재 고속 SAR 관련 주요 이슈는 측정방법에 대한 유효성 검사 알고리즘 적용 방식을 두고 이견이 많이 지연되고 있는 상황으로, 표준 개정 작업을 완료하기 위해 프로젝트 개발 방향 변경에 대한 논의가 이루어졌다.

- 프랑스와 스위스에서 제안하고 있는 고속 SAR 측정방법의 유효성검사에 대한 알고리즘이

상이하여, 서로간의 입장차이가 좁혀지지 않아 이를 해결하기 위해 유효성검사에 대한 내용은 PAS 문서로 따로 개발 추진하기로 함

- 관련 내용에 대한 결론은 하반기 중으로 회람 문서로 발행하여 각국의 의견을 받아 추진하기로 함. 또한 고속 SAR 방법의 IEC/IEEE 62209-1528 통합버전으로의 흡수는 최대 26년까지 연기하여 개발을 추진하기로 함



[62209-3 변경 추진(안)]

4. IEC TC106 MT3(무선국 전자파강도 평가)

IEC TC106 MT3에서는 IEC 62232 Ed.3.0에 대한 표준문서 개정 완료되었다. 무선국도 마찬가지로 5G 이슈가 가장 부각되어 개발이 진행 중이며 단말기와는 다른 설치 및 사용 환경을 가지고 있어 드론으로 측정하는 방법 등을 검토하고 있다. 5G mmWave 무선국과 같이 새로운 주파수 대역 및 통신 방식을 이용하는 전자파 노출원이 사용됨에 따라 새로운 측정 및 계산 방법 적용이 필요하며, 이를 반영하기 위해 IEC 62232 Ed.3.0 22년 10월 발간되었다. 5G 이동통신과 관련하여, 추가된 핵심적 측정방법은 최대 노출 전력(Actual maximum transmitted power)을 이용한 평가방법과 5G NR (New Radio)의 동기신호블럭(SSB, Synchronization Signal Block) 측정을 통한 외삽 방법 등이 있다.

표준 개정 후 관련 측정방법의 실제 측정 결과 및 측정방법 등에 대한 가이드를 위해 IEC TR 62669 Ed.3.0을 개정 추진키로 하였으며, 이번 회의에서는 아래와 같은 내용이 논의 되었다.

- Actual max approach implementation*
측정방법 및 표준안 검토

- 기지국 안테나에서 방출되는 전자파의 최대값을 측정하여 전자파 노출량을 평가하는 방법으로 회의 전 배포된 회람문서에 대한 각국의 의견 검토가 진행되었으며, 새로이 추가되는 “기술 용어 정리”에 대한 논의도 진행되었다.” 검토 의견이 많아 이번회의에서 검토가 다 이루어지지 못하였으며, 차기회의에서 지속적으로 검토 될 예정이다.

무선국 측정방법에도 우리나라는 현재 국내 측정기술을 제안하여 반영되었으며, 국내 측정 기술과 국제표준이 우리나라의 특화된 5G 무선국의 측정방법이 아닌 IEC 표준에서 검토하고 있는 내용과 융화 될 수 있도록 대응 중이다.

5. 기타사항

- IEC/TC106 의장 임기만료에 따른 의장 선출
 - Mike Wood의 임기가 올해 종료됨에 따라, 신규 의장 선임에 대한 투표가 진행될 예정임(하반기 중 회람문서 검토)
 - 총 4명의 후보[Jafar Keshvari(핀란드)/Sami Gabriel(영국)/Teruo Onishi(일본)/John roman(미국)]가 지원한 상태이며, 24년 상반기 선출이 완료 예정
- IEC/TC106 24년도 회의 일정
 - (2024년 Meeting) '24.1.22 ~ 25, 벨기에 브뤼셀
 - (2024년 Meeting) '24.6.17 ~ 21, 미국 (Apple)

- (2024년 Meeting) '24.10.19 ~ 29, 프랑스 파리

제3절 결론

신규 기술(5G, 무선전력전송)의 상용화로 인하여 국제적으로 전자파인체노출량 측정방법에 대한 새로운 표준 개발이 활발하게 이루어지고 있는 시점이다. 우리나라에서도 변화하는 국제 기준에 맞추어 IEC/TC 106 대응 위원회가 구성이 되어 적극적으로 국제표준작업을 대응중에 있으며, 규제와 긴밀한 상관관계를 가지고 있는 전자파 인체 안전 분야 국제표준 개발에 국익을 위해 적극적으로 대응하고 있다. 앞으로도 산학연관이 협조하여 국제 표준화 활동에 적극적으로 참여하고, 국내 IT와 전파 산업의 보호 및 국제 경쟁력 확보를 위해 지속적인 지원 및 노력이 필요할 것으로 판단된다.

제11장 제28차 WHO IAC (국제자문위원회) 회의

최형도 박사
(한국전자통신연구원)
백정기 교수
(충남대학교)

- 제1절** 개요
- 제2절** WHO Systematic Review 진행 사항
- 제3절** IARC Monograph의 RF EMF evaluation 업데이트 현황
- 제4절** 최근 EMF 연구 동향
- 제5절** EU의 EMF와 건강에 대한 연구 프로젝트
- 제6절** 각국의 전자파 이해소통(RC, Risk Communication) 활동
- 제7절** 맺음말

▶ 제1절 개요

WHO 75주년에 열린 이번 WHO IAC 회의는 코로나 19의 엔데믹 이후 첫 대면 회의로 개최되어 오프라인으로 65명, 온라인으로 38명 총 103명이 참석하여 6월 6일부터 8일까지 3일에 걸쳐 EMF, Optical exposure에 대한 논의가 진행되었다.

항상 그래왔듯이 WHO Dr. Emilie가 업데이트된 WHO 활동을 먼저 보고하였는데, 프로젝트 비용에 대해 호주, 이스라엘, 뉴질랜드, 스위스가 기금을 내고 있으며, 네덜란드는 현물로 활동을 지원하고 있고, 새로이 아르헨티나, 브라질, 에스토니아, 싱가포르 등 참여하게 되었다고 보고하였다. '23에서 '25까지 주요 활동으로 RF Monograph 작성, Scoping report 및 Systematic review, 그리고 작년 동향 보고서에 언급한 NIR protection framework에 대해 계속 추진하고 있으며, 새롭게 RF research agenda 마련 및 EMF Dialogue handbook 업데이트를 계획하고 있다고 언급하였다. EMF

Dialogue handbook은 2002년에 발간되어 우리나라를 비롯하여 14개국의 언어로 번역('21년) 되어 있으며, '23년 5월에 설문조사를 실시하였고, 현재 내용과 디자인이 업데이트 중이다.

금년에는 특이하게 그동안 각국에서 제출한 보고서들에 대해 국가별 순위를 매겨 Top 10을 발표하였는데, 아래 그림과 같이 한국이 전체 제출 국가 중 3위로 보고하였다. 어떤 기준으로 순위가 정해졌는지에 대해서 구체적으로 언급하지는 않았지만, 우리의 위상이 높아짐을 실감하기에는 충분한 이벤트였다.

'23년 IAC 회의 여러 내용 중에서 본 동향보고서에서는 WHO systematic review 진행 사항, IARC Monograph의 RF EMF evaluation 업데이트 현황, 최신 연구 동향, EU의 EMF와 건강에 대한 연구 프로젝트, 끝으로 각국의 전자파 이해소통 활동에 대해 살펴보고자 한다.

Annual reports



1. United Kingdom
2. Japan
3. Korea, Republic of
4. New Zealand
5. Greece
6. Israel
7. Malaysia
8. Finland
9. Italy

제2절 WHO Systematic Review 진행 사항

WHO에서는 암, 생식, 인지 기능, 이명, 편두통 등 주관적 증상, 산화스트레스, 열적 효과의 6개 우선 검토 대상 건강 영향 및 메커니즘을 선정하고, 80명 이상의 전문가들로 10개의 systematic review 팀을 구성하여 각각의 10개 프로토콜에 대하여 Environment International에 게재하였다.

그리고 EHC Monograph 개발을 지원하고자 2021년 10~12월 전문가를 모집하여 총 66명의 후보 중 AMRO(3), EURO(10), AFRP(1), WPRO(6), 총 20명(남성 14명, 여성 6명)을 선발하여 WHO Task Group on Radio frequency Fields and Health Risks를 구성하였다. 이렇게 선발된 전문가들은

전자파 위험성에 대한 결론 도출 및 결론에 포함되는 요소 등에 대해 논의하고, 건강 역효과 및 이에 대한 그룹핑, scoping report와 systematic review로부터의 연구 결과와의 결합, 증거들에 대한 결합 및 가중치 부여 등 건강 위험에 대해 전반적인 평가를 수행하고 있다.

제3절 IARC Monograph의 RF EMF evaluation 업데이트 현황

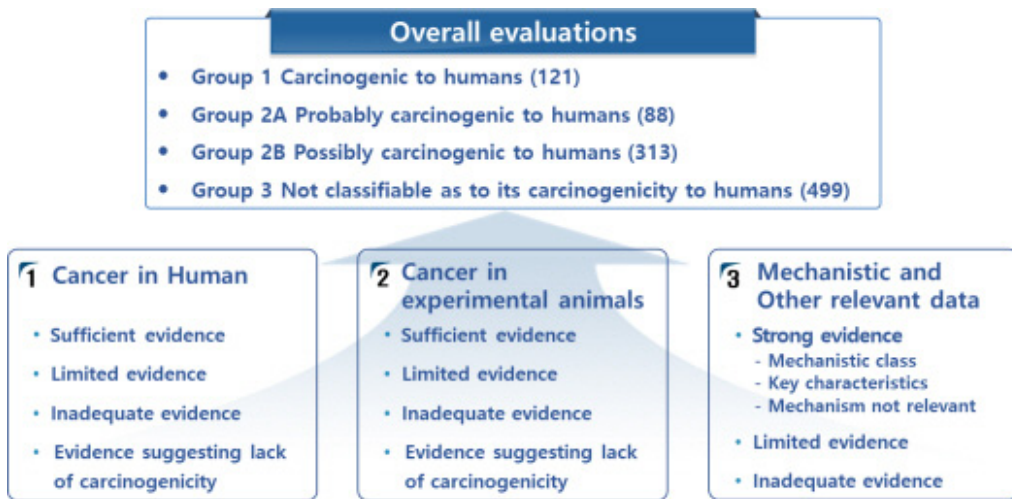
IARC의 monograph program approach는 5단계를 걸쳐 진행이 되는데 1단계는 관련 정보를 정의하는 것이며, 2단계는 연구들을 선정하고 분류하는 단계이고, 3단계는 각각의 연구들의 질을



평가하고 4단계에서는 연구의 특성들을 정리하고, 마지막 단계인 5단계에서는 증거들을 종합하여 전체적으로 평가하는 것이다. 이러한 절차를 걸쳐 각 분야별로 다음 그림과 같이 증거 레벨을 분류하고 최종적으로 발암 그룹을 분류하는 것이다.

한편, RF-EMF는 '11년 사람에게 암에 대해 제한된 증거를 갖는 그룹 2B으로 평가되었으나, 자문그룹은 2020~2024년 기간의 재평가 우선 순위로 RF-EMF를 권고하였다. 이는 휴대전화 사용과 발암 관련 규명을 위한 암의 bioassay와 발암물질의 메카니즘에 대한 새로운 증거, Million Women study, Mobi-kids, COSMOS 등의 암 관련 역학연구 등을 주목하여 언급하고 '23년~'24년 IARC monograph에 의해 재평가 agent로서 권고되었다. 여기서 언급된 UK의 Million Women study는 1938~1950년생 여성에 대한 코호트 연구로서, N=3,268명의 환자를 대상으로 한 연구결과, 일상적인 휴대전화 사용이 뇌암 발생을 증가하지 않는다는 연구 결과를 발표하였으며, 4 Nordic countries(덴마크, 핀란드, 노르웨이, 스웨덴)에서는 1979~2016년도, 40~69세 남성

18,232명을 대상으로 glioma 발생에 대한 조사를 실시하였는데, 휴대전화의 영향이 관찰되지 않았다. 또한, COSMOS study는 RF-EMF 노출과 건강 위험과의 연관성을 규명하기 위한 휴대전화 사용자에 대한 가장 큰 코호트의 연구로서, 스웨덴, 덴마크, 핀란드, 영국, 네덜란드, 프랑스가 참여하고 있으며, IARC 주관 하에 반복 질문(프랑스), 두통과 이명에 대한 분석(영국, 네덜란드), 암 위험성 분석 등이 진행되고 있다. 또한, 우리나라도 '13년부터 참여한 어린이 청소년 휴대전화 사용과 뇌암과의 연관성 규명을 위한 Mobi-Kids 연구 결과, 휴대전화 사용과 어린이 청소년 뇌암 발생과 연관성을 지을 수 없다는 결론을 발표하였다. 끝으로 미국 국립 독성학 프로그램(National Toxicology Program)의 대규모 연구에서는 휴대폰에 사용되는 전자파에 노출된 수컷 쥐에서 심장의 악성 신경초종의 위험이 증가할 뿐만 아니라 뇌의 특정 유형의 종양에 대한 위험도 증가할 수 있음을 발견되었지만, 생쥐나 암컷 쥐에서는 위험이 증가하지 않았다는 연구결과도 재평가에서 검토될 예정이다.



Source: Isabelle Deltour, 28th WHO IAC Meeting

▶ 제4절 최근 EMF 연구 동향

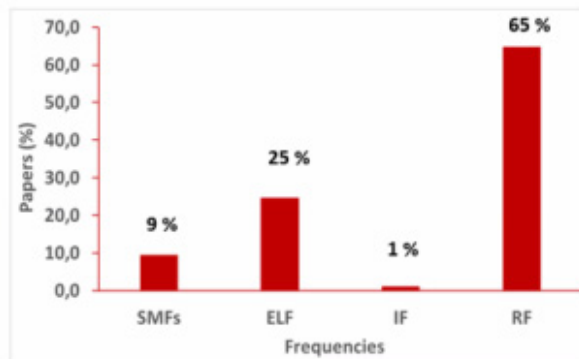
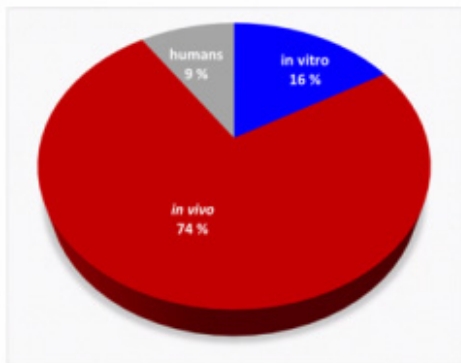
최근 몇 년간의 EMF 연구 동향은 지난해와 마찬가지로 역학연구는 IARC의 Isabelle Deltour와 동물 및 세포실험은 Italy의 Maria Rosaria Scarfi가 보고하였다. 역학 분야는 뉴질랜드 연구팀에서 시간에 따른 뇌암 발생 경향 분석한 본문을 소개하였는데, 본 연구의 대상은 1995~2020년 사이 모든 연령에서 발생한 glioma 환자 6,677명을 대상으로 분석한 결과, 휴대전화 사용으로 인해 glioma 발생률이 증가한다는 지표는 없다고 밝히고 있다. Nordic countries에서 1979~2016년 40~69세인 18,232 남자 glioma 환자에 대한 시간에 따른 glioma 발생 경향을 분석한 결과도 휴대전화 사용의 증가와 일치하는 glioma 발생률 변화는 없었다.

동물과 세포실험을 포함한 실험실 연구는 2022년 1월부터 12월까지 발표된 연구(*in vivo*, *in vitro*, 그리고 human study)에 대해 EMF-portal (www.emf-portal.org)에 있는 자료를 중심으로 총 85개의 논문을 검토한 결과를 소개하였다. 발표 논문수를 작년과 비교하면, 정자기장에 대한 논문의 비율은 15.6%에서 9%로 감소하였고, 50~60 Hz 자기장에 대한 논문의 비율은 17.2%에서 25%로

증가하였으며, 중간주파수에 대한 논문의 비율은 4.7%에서 1%로 크게 감소하였으나, 무선주파수의 경우 여전히 62.5%로 가장 많은 논문이 발표되고 있다. 매년 제기되고 있는 문제는 논문의 품질 문제이다. 이러한 문제로 약 35%가 건강 영향을 평가하는데 적절하지 않은 것으로 판단되었는데, 특히 실험절차 등의 문제가 결과를 신뢰할 수 없게 하는 주된 요인으로 지적되었다.

연구 분야별 동향 보고에 이어 한국과 독일의 연구 현황에 대한 발표가 있었다.

한국은 휴대전화와 발암 연관성에 대한 NTP 연구 타당성 검증을 위한 한일 공동 장기노출 동물 실험 연구에 대해 한국의 연구결과를 중심으로 한국 측 공동연구책임자인 아주대 안영환교수가 발표를 하였다. 한국과 일본은 국제공동연구 프로토콜을 마련하여 28일 노출 실험 및 2년간 장기노출 실험 진행사항을 보고하였는데, 이번 공동연구의 가장 큰 의미는 국가 간 데이터 통합의 가능성을 제시하는 첫 사례연구라는 점이다. 앞서 언급한 바와 같이 한국 연구 결과를 중심으로 실험동물(흰쥐)의 체중, 먹이 섭취량, 그리고 생존/사망률에 대한 데이터를 발표하였으며, 일본의 경우도 유사한 경향을 보인다는 것을 소개하였고, 연구결과가 아직 저널에 게재되기 전이어서 발표자료는 일부만 공개하였다. 이 결과들은 전 세계적으로 많은 관심이 집중되어



있으며, Microwave News¹⁾에서도 이번 발표에 대한 소개 보도가 있었다.

독일에서는 ELF와 IF 연구의 업데이트 현황을 보고하였는데, 역학의 경우 '17년에서 '25년까지 진행 중인 ELF에 대한 소아 백혈병 등 총 39개 연구 프로젝트에 대한 소개와 소아 백혈병의 원인에 대한 제7차 국제워크숍 (2022년 11월) 개최 내용을 설명하였다. 여기서 특별히 소아 백혈병과 자기장에 대한 새로운 내용이 없었으며, 자기장에 적응된 면역 시스템은 백혈병을 방지할 수 있다고 하였다. 한편, 알츠하이머(AD) 관련 역학연구도 수행하였는데 AD 발생과 자기장의 직업적 노출 사이의 약한 연관성을 보이는 결과를 얻었다. 또한, 수면 장애는 AD의 증상과 위험 요인이기 때문에 AD의 발병 가능성의 연결고리를 제공할 수 있다는 점을 알 수 있었다. 다음은 꿀벌에 대한 연구로서 꿀벌의 자기장²⁾ 및 전기장³⁾에 대한 인지는 잘 알려져 있는 편이고, 실험실과 현장연구에서 50 Hz 전자기장의 역효과에 대해 몇몇 보고가 있다. 또한, IF 전자파에 대한 systematic review 등의 결과로 비추어 유전독성과 발암 효과가 관찰되지 않았다고 설명하였다.

제5절 EU의 EMF와 건강에 대한 연구 프로젝트

Horizon Europe에서 Environment & Health 분야에 약 3 billion EURO를 투입하여 프로젝트를 진행하고 있으며, 이중 CLUE-H는 4개의 프로젝트

(ETAIN, GOLiAT, SEAWave, NextGEM)를 5개의 Working group(WG 1: 정책과 실무에 대한 과학적 해석, WG 2: 데이터 관리 및 교환, WG 3: 이해소통 및 확산, WG 4: 실험적 연구, WG 5: 노출량 평가)으로 나누어 운영되고 있다. 총 18개국 70개 기관이 29 million EURO 예산으로 추진되고 있으며, 각각의 프로젝트는 다음과 같다.

- ① GOLiAT (5G exposure, causal effects, and risk perception through citizen engagement)

GOLiAT은 5G에 대한 RF-EMF 노출 특성 및 모니터링, 시민 참여를 통한 위험성 인식과 이해소통에 대한 이해 증진, 신경정신적, 생물학적 영향의 잠재적 인과관계에 대한 새로운 통찰 및 통합적 초학제간 연구를 목표로 하며, WG 10개로 구성되어 있고, 21개 기관(ETRI, 단국대의대, 일본의 홋카이도대학이 associate partner)이 참여하고 있으며, 연구비는 5년에 7 million EURO이다.

- ② ETAIN (Exposure to electromagnetic fields and planetary health)

ETAIN은 7개국 12개 기관이 참여하고 있고, 연구비는 5년에 6.6 million EURO 로서, App을 사용하여 공간적 개인노출량 수집, 피부, 눈, 과일, 등에 대한 실험실 연구, 곤충의 노출량, 그리고 지구 건강에 대한 전망 등의 연구를 수행하고 있다.

- ③ SEAWave (Scientific-based exposure and risk assessment of radiofrequency and mm-wave systems from children to elderly)

SEAWave는 WG 11개로 구성되어 있고, 15개 기관이 참여하고 있는데 ETRI도 associate

1) <https://microwavenews.com/short-takes-archive/icnirp-still-runs-rf-who>
 2) Kirschvink et. al., 1997 J. Exp Biol 200: 1363-1368
 3) Greggers et. al. 2013 Proc Biol Sci 280: 20130528

partner로서 참여하고 있으며, 연구기간은 3년이고, 연구비는 7.3 million EURO이다. 주요 연구내용은 5G vs 2G~4G 이동통신 네트워크로부터 노출량 평가, 5G MaMIMO 기지국으로부터 노출 모니터링, 사용자 단말의 노출량 평가, 인체 피부의 Macro/Micro dosimetry, 5G FR2로부터의 피부 압 및 피부 질병, 그리고 시민들의 인지된 노출에 대한 영향을 규명하는 것이다.

④ NextGEM (Next generation integrated sensing and analytical system for monitoring and assessing radiofrequency EMF and Health)

NextGEM은 20개 참여 기관, 연구기간 4년, 연구비 7.6 million EURO이며, RF 소스의 측정 및 모델링, EMF와 건강에 대한 실험 및 자원자 연구, EMF 노출과 가능한 건강 영향에 대한 연관성, 혁신적인 Knowledge Hub, 그리고 프로젝트 영향 극대화 및 클러스터의 활성화 목표로 추진되고 있다.

상기한 4개 프로젝트로 구성된 EMF and Health Cluster (CLUE-H)는 총 70 여개 EU 연구기관 및 미국, 일본, 한국이 참여하고 있으며, 공식적인 kick-off meeting은 '22년 9월 22일 그리스 데살로니카에서 열렸다.

▶ 제6절 각국의 전자파 이해소통(RC, Risk Communication) 활동

일본의 RC 활동에 대해서 Japan EMF Information Center의 오쿠보 박사가 발표하였다. 영어를 일본어로 번역하는 과정에서 RC와 관련된 용어에 대한 정확한 의미 전달의 장벽이 발생할 수 있다고 하며, 그 예로서, prevention (과학적 증거가

확립된 영향)과 precaution (과학적 증거가 확정되지 않은 영향)은 의미상으로 상당한 차이가 있음에도 불구하고 일본어로 모두 '예방'으로 번역된다. CONVID-19에 대한 예방(prevention) 접종, EMF에 대한 예방(precaution) 정책으로 사용되고 있어서 EMF가 코로나와 같이 인체에 확실히 유해한 것으로 오해할 소지가 있다. 또 하나의 예로서 IARC의 발암 등급 구분에 probable carcinogenic과 possible carcinogenic을 번역함에 있어서 일반인에게 엄격하게 구분하지 않고 둘 다 '가능성'으로 번역하는 데서 오는 혼돈으로 이를 줄이는 노력이 필요로 하다. 이러한 사례들은 우리나라의 경우도 유사하다고 할 수 있어서(precaution의 경우는 '예방'과 '사전주의' 용어가 혼용되어 사용) RC와 관련된 번역 용어의 선정이 매우 중요하다는 것을 단적으로 보여주는 사례라 생각한다. 또 다른 예는 hazard와 risk인데, 이들의 차이는 우리나라의 경우 위의 용어와는 달리 어느 정도 구분하여 사용하고 있다. 즉, hazard는 위해로, risk는 위험성으로 번역하고 있다. 이와 같이 용어의 사용에 따라 일반인들이 전자파에 대한 인식의 많은 변화가 초래될 수 있음을 시사하고 있어 RC 활동을 하는 전문가들은 용어 선정에 신중해야 할 것이다. 다음으로 일본에서는 국제적 신속 대응 그룹을 구성하여 운영하고 있다. 이 그룹의 역할은 새로 발표된 과학적 논문을 빠르게 분석하여 미디어, 정책입안자, 그리고 일반인들에게 제공하는 것이다.

벨기에 정부는 5G에 대한 온라인 지식 제공과 교육을 위해 플랫폼을 구축하여 운영하고 있으며, 환경과 건강, 과학기반의 지식에 대한 정보 제공, FAQ를 web을 통해 제공하고 있다. 또한 고전력선 근처에 대한 EMF 노출량을 계산 (SW)하여 일반인들에게 알려 주고, 또한 정책 변화가 있을 때에는 시민을 위한 뉴스레터를 발간하여 배포하고

Recent Review

Rapid Response Group (RRG)'s review on "An assessment of illness in U.S. government employees and their families at overseas embassies"

<https://www.jeic-emf.jp/english/topics/4962.html>

23 December, 2020.

있다.

스위스는 벨기에와 마찬가지로 5G에 대한 website를 구축하여 EMF 노출 관련 정보를 제공하고 있다. '22년 의회의 제안을 근거로 하여 스위스 정부는 '23년도부터 건강과 환경에 대한 EMF 영향 연구로서 6개 프로젝트를 추진하고 있다. 이들 6개 프로젝트는 연구기간이 3~4년이며, 연구비는 약 4 million 프랑으로 주요 연구 아이টে은 다음과 같다. ① 정자 질에 대한 RF-EMF 영향 관련 전향적 코호트 연구 ② 삶의 질과 행동·인지 기능에 대한 휴대전화 기지국 및 무선국에 대한 영향 관련 전향적 코호트 연구 ③ 5G와 건강 (신경독성) ④ Cav1.2 calcium canals의 수면 영향 ⑤ 피부에 대한 5G의 생물학적 영향 (mm Wave) ⑥ 곤충에 대한 EMF 영향이다.

독일은 '왜 RC를 해야 하나?'와 '왜 새로운 무엇인가를 시도해야 하나?'의 질문을 토대로 발표를 하였다. 먼저 'EMF 우려'와 관련해서는 21개 EU 멤버 국가의 관련 기관 및 조직으로부터 28개 응답을 받았는데 High frequency wireless technology, Static and low frequency EMF, Intermediate frequency의 순으로 나타났다. '왜 RC를 해야 하는가?'에 대한 응답으로 디지털 전환과 에너지 전송의 Gigatrend, EMF의 국민적 우려 증가, EMF 위험성 인식에 대한 지역·국가 간 차이, 정크 과학/잘못 설명된 연구결과, misinformation 등의 이유를 들었다. 응답국가들의 EMF 이해소통 채널에 대해 인터넷, Face-to-Face, Social Media, Mass Media의 순으로 나타나 대면 전파의 효과가 매우

크다는 점을 시사하였다.

【효과적인 RC 방법】

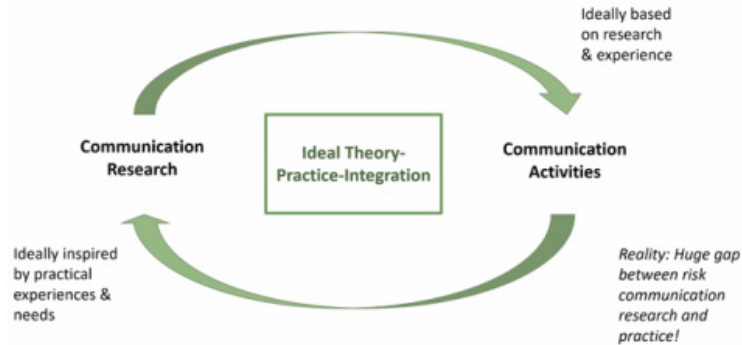
① 개인에게 정보를 제공할 때 신뢰를 구축 ② Social Media는 더 작은 그룹을 표적화 ③ Person-to-person은 이메일과 전화로 정보 제공

한편, '왜 새로운 무엇인가를 시도해야 하나?'에 대해서 RC 연구와 실제 사이에는 커다란 gap이 존재하기 때문에 RC 활동과 연구 사이에 피드백이 필요하다고 강조하였다.

【RC에 대한 새로운 시도】

① Magic bullets의 의존을 멈추라 ② 우리가 원하는 청중을 만들려고 노력하지 마라 ③ 청중들이 조직이 아닌 사람에게 신뢰를 구축하도록 시도하라 ④ Switch를 이해하고 사용하라

WHO RC 전문가인 Gupto-Smith가 현장 소통 관련 실질적인 활동에 필요한 방안에 대해 회의 참석자들과 함께 나누는 시간을 가졌다. 먼저, 전문가로서 왜 우리는 소통하는지, 그것이 무엇을 의미하는지 그리고 어떻게 이야기해야 할지에 대해 우리는 늘 확신이 없다는 것을 인지시키고, what, how에 중점을 두지 why에는 충분한 고려가 없다는 점을 지적하였다. 누가 그들의 행동이 변하는 것을 필요로 하는지(상사, 국민, 제조사)?, 이해소통의 결과로 청중이 무엇을 바꾸고 행동하기를 원하는지?, 소통의 대화 방법 개발, 그리고 청중에 대한 이해가 중요하다는 점을 강조하였다. 매우 인상적인 한 가지 tip을 제시하였는데, 그것이 S.U.C.C.E.S(Simple,



출처: 제28차 WHO IAC meeting, BfS Christian Raupach

Unexpected, Concrete, Credible, Emotional, Story) 메시지를 만들라는 것이다. 여기서 Simple은 청중이 기억하기를 원하는 한 가지 혹은 청중이 하기를 원하는 한 가지를 의미하며, Unexpected는 주의 끌기 (호기심 발동, 놀라움을 말함, 사실을 나타냄, 패턴을 깬) 이며, Concrete는 메시지를 이해할 수 있도록, 모든 사람이 동일하게 의미를 받아들이도록 만드는 것이다. 이는 개념을 설명하는데 있어서 실례를 적용하거나 그림으로 표현하거나 혹은 비유를 사용하는 것으로 다음의 코카콜라 예시를 들 수 있다. 코카콜라 1캔은 설탕 90 숟가락과 맞먹는다.

다음은 Credible로서, 그 어느 때 보다 지금 세상은 WHO를 필요로 한다는 것이 적절한 예라 생각한다. 또 RC는 Emotional 즉 감성적 접근이 필요하다. 단적으로 표현하면, 사람은 말한 것과 행동한 것을 잊을 수 있으나, 어떻게 느꼈다는 감정은 결코 잊지 않는다는 점을 상기시켰다. 그리고 Story로서 자신의 경험을 사용하고, 스토리텔링하고, 증거를 사용하여 때로는 그림으로 때로는 감성적 표현을 사용하여 대상에게 말을 할 것을 권고하였다.



RC는 전문가, 정책입안자, 그리고 국민과의 대화로서, 이해관계자들이 정보에 입각해 결정을 내릴 수 있도록 해야 하지만 위험성 인식은 전문가와 대중 사이에 큰 시각차가 존재한다. 즉 전문가는 위험성을 hazard x exposure x susceptibility를 종합해서 고려한다면 일반 대중은 hazard + [fear, anger, outrage] 감정적인 부분이 더해지는 양상을 보인다고 하고, 여기에 대한 전략 수립의 필요성을 강조하였다.

제7절 맺음말

금년 WHO IAC Meeting은 3년 만에 재개된 대면 회의로서 코로나 이전에 비해 참석자 수는 적었지만,

WHO 75주년과 맞물려 보다 의미 있는 회의이었다. 비대면 회의로는 불가능한, 참석자들의 함께 고민하고 참여하는 RC 현장 강의는 매우 인상적 이었으며, 각 기관들의 EMF 프로그램과 최신 동향을 소상이 파악할 수 있는 기회가 되었다.

또한, 한국과 일본의 NTP 연구결과와 타당성을 검증하는 국제공동 동물실험 연구는 참여 국가들의 많은 관심을 끌기에 충분하였으며, 한국이 개발하여 제공한 동일한 장비를 이용하여 동일한 연구 프로토콜로 실험한 결과로서, 세계 최초로 국가 간 동물실험 데이터를 통합할 수 있는 가능성을 제시한 연구결과이다. 이를 통해 우리나라의 위상이 어느 정도 높아졌는지 실감하게 되었다.

앞으로 전문가들이 보다 관심을 갖고 중점적으로 추진해야 하는 분야는 RC로서, RC의 중요성이 날로 높아지고 있으며, 일반 대중의 연구 기획 단계에서의 참여 등 연구 전반에 걸쳐 투명성을 높이고 다양한 참여 프로그램들을 개발하여 국민적 수용도를 높이는 방안이 마련되어야 할 것이다. 한편 올바른 연구결과를 쉽게 공유할 수 있는 신뢰성이 높은 종합적인 플랫폼의 구축, 또한 매우 중요하다는 점을 공감하였다. RC에 있어서 지금까지는 what, how에 중점을 두었다면 앞으로는 why에 초점을 맞추고, S.U.C.C.E.S 를 위한 메시지 개발 및 이해소통 활동을 강화해

나아가야 할 방향에 대해 깊이 검토하여, 향후 전자파 인체보호 관련 정책 지원과 이해소통 플랫폼을 마련하는 데 도움이 되는 것이 바람직하다고 생각한다.



이 보고서는 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임
[2019-0-00102, 복합 전파환경에서의 국민건강 보호 기반 구축]

제12장 BioEM 2023 참관기

김혜선 박사
(아주대학교)

BioEM은 전자기장과 생체 분야에 관심이 있는 전 세계 40개 이상 국가 및 지역의 생물학자, 물리학자, 의사 및 공학 전문가들이 참여하는 비영리 국제 학술 단체이다. BioEM은 1978년에 미국에서 설립된 Bioelectromagnetics Society (BEMS)와 1989년에 유럽에서 설립된 European Bioelectromagnetics Association (EBEA)가 2021년에 합병하여 출범하였다. BioEM의 공식 학회지인 「Bioelectromagnetics」는 전자기장과 생물학적 시스템 간의 복잡한 상호 작용에 대한 과학적인 측면을 다루는 동료평가 학술지이다. BioEM은 전자파 생체영향 연구 분야에서 규모가 가장 큰 국제 학회로, 전 세계에서 가장 큰 규모를 자랑하며 매년 다양한 세션, 워크숍, 그리고 튜토리얼을 통해 참가자들에게 최신의 과학 주제를 제공하고 있다. 또한, 최신 기술과 연구 동향을 소개하며, 연구자 간의 과학적 격차를 줄이고 혁신적인 연구 결과를 소개하는 학술의 장이다. BioEM을 통해 참가자들은 전문 네트워크를 구축하고 강화할 소중한 기회를 얻을 수 있다.

COVID-19 팬데믹으로 모든 국제 행사가 취소된 후, 2022년에 나고야에서 개최된 BioEM 2022는 합병 후 첫 번째 행사로서 특별한 의미를 지닌다. 금년에는 두 번째 학술 행사인 BioEM 2023이, 2023년 6월 18일부터 23일까지 옥스퍼드 대학교의 래드클리프 천문대 구역의 옥스퍼드 대학교 수학 연구소에서 개최되었다. 환영 리셉션은 6월 18일에

Ashmolean Museum of Art and Archaeology에서 개최되었고, 환영 만찬은 6월 20일에 Victorian Gothic 건축물인 Keble College에서 개최되었다.

BioEM 2023에서는 「Neurostimulation」, 「Exposome」, 「Biofilms」, 「Magnetic Compass Sensing in Migratory Birds」에 관한 기초 강연과 「High - Frequency Dielectric Characterization of Materials」에 대한 튜토리얼이 제공되었다. 더불어, 「Magnetoelectric Nanoparticles」, 「Activities of IEEE」, 「WHO Systematic Reviews」, 「Spinal Cord Injury Treatment」, 「TMS, Transcranial Magnetic Stimulation」 등에 대한 워크숍이 진행되었다. 금년에는 전 세계 26개 국가에서 227편의 논문이 제출되어, 노출량 및 생물학/의학 주제에 대한 14개 세션의 구연 발표가 진행되었으며 두 개의 포스터 세션이 구성되었다. 우리나라에서는 정부 관계자, 학계, 산업계 등 24명이 참석하여 다양한 주제로 발표하였다. BioEM 2023에서는 흥미로운 다양한 연구 내용이 발표되었다. 본 연구자는 바이오 연구자로, 바이오 관점에서 주요 관심을 두고 있는 주제를 중심으로 행사 내용을 간략히 소개하고자 한다.

BioEM 2023에서는, 예년과 달리 전반적으로 5G 주파수 대역의 전자파 연구가 늘어나는 추세를 볼 수 있었다. 2022년, 한국전자파학회 산하의 「전자기장과 생체관계 연구회 5G EMF 위원회」에서 「5G 전자파의 인체영향 보고서」를 발간하였다. 본

연구자는 보고서 작성에 참여하며 5G 전자파의 생체영향과 관련된 논문들을 검토한 바 있다. 당시, 5G 생체영향 관련 논문이 많지 않아 5G 전자파 인체 영향에 대한 결론을 도출하는 데에 어려움이 있었다. 그러나 향후 5G 전자파 분야의 연구가 증가한다면, 5G 전자파의 생체영향 평가에 많은 도움이 될 것으로 기대된다. 특히, 5G 상용화를 세계에서 최초로 시작한 것이 한국임을 고려하면, 우리 연구와 경험에 대한 의견이 중요할 것으로 예상된다.

6월 19일, 행사의 두 번째 날, TMS를 활용한 두뇌 자극에 중점을 둔 워크숍이 열렸다. 또 다른 워크숍에서는 척수 손상 치료를 주제로 한 다양한 연구가 소개되었다. 각 연구는 세포와 기질의 역할, 마이크로 파이버와 슈반 세포의 전기 자극, 생체 이식 장치 모델링을 위한 마이크로 디바이스 및 전기 펄스의 활용, 그리고 전기 자극을 통한 신경 조직 재생에 중점을 두었다. 이러한 노력들은 비침습적인 두뇌 자극과 전자파를 활용한 혁신적인 치료 방법으로, 전자기장을 활용한 두뇌 자극과 척수 손상 치료에 관한 연구가 미래의 의료 분야에서 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

6월 20일, 행사의 세 번째 날에는 비침습적인 두뇌 자극 분야에서의 세계적인 권위자인 미국 하버드 의과대학의 Pascual - Leone 교수가 기초 강연을 진행하였다. TMS와 tCS(Transcranial Current Stimulation) 치료법이 간질, 뇌 매핑, 우울증, 중독, 편두통 등 다양한 질환의 치료에 활용되는 사례를 소개하였다. 더불어 디지털 바이오마커 수집, 변형 바이오마커 활용, 뇌 생리학 기반 신경 수정, 비침습적 두뇌 자극 기술 개발, 그리고 AI 기반 최적화 등의 뇌 건강과 관련된 혁신적인 솔루션과 맞춤형 정밀한 치료 전략을 소개하여 흥미로운 내용을 전해주었다.

같은 날, Imadia 교수는 「Progress report of international validation project of the NTP

study on carcinogenesis of mobile - phone radiofrequency radiation in Japan」이라는 주제로 발표를 진행하였다. 해당 발표에서는 현재 진행 중인 휴대전화 전자파 발암성 연구의 일본 결과를 소개하였다. 미국 NTP가 CDMA 및 GSM 변조된 휴대전화 무선 주파수 복사선(RFR)이 수컷 쥐의 뇌와 심장에 발암성이 있다고 보고한 것을 검증하기 위해 일본과 한국은 동일한 실험 프로토콜, 쥐 모델(Harlan SD, 수컷 쥐), 및 노출 조건(900MHz CDMA 변조 신호, 4W/Kg SAR)을 사용한 공동 연구를 2019년 시작하였고, 연구는 2023년에 종료된다. 연구진은 실험군을 전자파 노출군, sham 노출군, cage - control군 등 세 군으로 나누었고, 2년 동안의 발암성 연구를 위해 각 군당 수컷 쥐 70마리를 할당하였다. 28일 독성 연구를 완료하고 분석한 결과를 발표하였다. 또한, 14주간의 전자파 노출 이후 시행한 유전독성 분석에서 유의미한 변화는 관찰되지 않았다고 밝혔다. BioEM 2023 개최된 시점에는 2년 발암성 연구의 104주 전자파 노출 실험이 완료되었으며, 동물에서 얻은 시료 분석을 위한 준비가 진행 중이라고 하였다. 연구진은 동물의 관찰 결과를 소개하면서, 전자파 노출군에서는 체중과 사료 섭취량이 감소했다고 언급하였다. 이러한 결과는 한국과 유사한 경향을 보여 흥미로웠다. 한국의 연구 결과는 발표 내용에 포함되지 않았지만, 많은 연구자들은 한·일 공동 연구 결과에 큰 관심을 보였다. 발표가 끝난 후, 일본 측의 제안으로 한국과 일본 연구진들 간에 짧은 회의가 개최되었다. 한국 측은 김남 교수(충북대), 백정기 교수(충남대), 안영환 교수와 김혜선 교수(아주대), 전상봉 박사와 이애경 박사(ETRI), 그리고 김용범 박사와 한강현 박사(KIT)가 참석하였다. 일본 측에서는 Chiyoji Okubo 박사(Japan EMF Information Center), Masao Taki 교수(Tokyo Metropolitan University),

Akira Ushiyama 박사(National Institute Public Health), Hiroack Miyagi 박사(HM Research & Consulting)가 참석하여 전자파 발암성 평가 연구 진행 상황을 간략하게 논의하였다. 같은 시간에 카이스트의 안장용 박사는 Numerical Dosimetry 세션에서 「Assessment of Pedestrian Exposure Variability in a 5G Connected Vehicle Scenario」 주제로 구연 발표를 진행하였다. 그러나 동일한 시간에 일정이 겹쳐 참석하지 못해 아쉬웠다.

6월 21일, 행사의 네 번째 날에는 WHO가 현재 진행 중인 RF 전자파 관련 프로젝트를 워크숍에서 소개하였다. 장기간에 걸친 노력을 통해 전자파 노출의 건강 영향을 조사하고 있으며, 2012년에는 RF 전자파 환경 보건 기준을 업데이트하기 시작하였다. 국제적으로 인정받는 방법과 표준을 적용한 건강 가이드라인을 개발하고, 제기된 질문을 기반으로 하는 PECO (대상 인구, 노출, 비교자, 건강 결과) 형식으로 정리하고 있다고 설명하였다. 또한, 2018년에는 RF 전자파 노출로 인한 잠재적인 부정적 건강 영향에 대한 10가지 주요 주제를 선정하였다.

WHO의 RF 전자파 건강 평가를 위한 리뷰는 다양한 측면에서 진행 중이다. 세포실험(In vitro) 연구 리뷰에서는 1993년부터 2022년까지의 세포 연구 리뷰에서 약 50%의 논문이 scoping 리뷰에서 제외되었다. 이는 sham 노출군의 부재와 노출량 평가 부재와 같은 방법적 한계로 인한 것이다. 인간 실험(Human experimental) 연구 리뷰에서는 1993년 이후의 연구에 중점을 두었는데, 400편의 논문 중 35%만이 품질 기준을 충족했고, 노출 맹검 부재가 큰 문제로 지적되었다. 전자파 선량(Dosimetry) 연구 리뷰에서는 연구 설계와 한계점을 다뤘고, 역학(Epidemiology) 연구 리뷰에서는 역시 품질 기준을 충족하지 못한 경우가 많았다. 따라서 WHO는 무선 주파수 필드에 노출로 인한 잠재적인

건강 리스크를 평가하기 위해 RF 전자파 건강 영향 scoping 리뷰와 systemic 리뷰에서 고품질 연구의 중요성을 강조하였다. WHO는 신뢰할 수 있는 고품질 연구를 기초로 RF 전자파 노출로 인한 건강 영향을 평가하고 있다. 이에, 우리나라 연구진 역시 연구 설계 및 실행 시, 신뢰할 수 있는 연구 방법을 사용하여 연구를 수행하는 것이 필요하다고 생각하게 되었다.

BioEM 2023에서 소개된 다양한 주제와 연구 결과는 전자파 관련 연구에 적극적으로 반영될 수 있을 것으로 기대하며, 이를 통해 미래의 연구 방향 및 전자파 안전성에 대한 이해가 증진에 도움이 될 것으로 생각한다. 이번 학회를 통해 얻은 소중한 경험과 지식은 향후 본 연주자의 연구에 큰 도움이 될 것으로 기대한다. 또한, 국제 학회 및 협력 기회를 통해 연구 능력을 강화하여 IT 강국에 걸맞는 전자파 연구를 계속 수행해 나가야 한다고 생각한다.

BioEM 2024는 그리스의 크레타에서 2024년 6월 16일부터 21일까지 개최될 예정이다.

EMC(전자파적합성)

제1장 국제표준화 위원회

제2장 18 GHz 이상 대역 시험장 평가방법 표준화 동향

제3장 CISPR 11(산업/과학/의료기기의 EMI 규제) 표준화 동향

제4장 ISO 11451-2(차량 방사 내성 시험방법) 표준화 동향

제5장 Local wired port의 전류 프로브 측정 재현성 향상을 위한
측정조건 표준화 동향

제6장 GHz 대역 허용기준 산정 모델 표준화 동향

제7장 CISPR 32(멀티미디어 전자파적합성-방출 요구 사항) Ed3.0
표준화 동향

제8장 IEC 61000-4-41(광대역 방사 내성 시험방법) 표준화 동향

제1장

임영철 팀장
(한국전파진흥협회)

국제표준화 위원회

제1절 CISPR 위원회 소개
제2절 2023년도 주요 회의결과

▶ 제1절 CISPR 위원회 소개

국제전기기술위원회(IEC¹⁾) 산하의 국제무선장해 특별위원회(CISPR²⁾)는 기기로부터 발생하는 비의도적 전자파로부터 무선서비스를 보호하고 전자파로부터 기기들이 내성을 갖도록 하는 전자파적합성(EMC) 관련 국제표준화를 추진하고 있다. 1934년 최초의 공식 회의를 개최한 이래로 매년 표준 규격을 제정하기 위하여 정기적인 회의를 개최하고 있으며, 방송 통신 서비스 장애와 관련된 문제를 해결하기 위하여 국제적인 협력을 도모하고 있다.

CISPR는 전자파장해(EMI) 측정·평가 관련 기본 규격(Basic standard)과 가전기기, 정보기술기기

(ITE), 멀티미디어기기 등 특정 제품 및 제품군에 대한 표준(Product and product family standard)을 제정하고 관리하는 업무를 담당하고 있다. 우리나라를 비롯한 대부분 국가에서 EMC 기준으로 CISPR 표준을 준용하고 있어 CISPR는 전자파적합성 분야에서 가장 대표적이고 영향력 있는 국제기구로 자리매김하고 있다.

현재 CISPR는 산하에 6개의 소위원회(Sub-Committee)와 운영위원회(Steering Committee)로 구성되어 있다.

IEC/CISPR 산하 모든 소위원회는 담당하고 있는 프로젝트의 효율적인 수행과 진행 상황 점검을 위해 매년 CISPR 총회와 함께 소위별 전체회의(Plenary meeting)와 작업반(Working Group) 회의를 1회

〈표 1-1〉 IEC/CISPR 산하 소위원회 역할 및 담당 표준

CISPR A	[기본규격] 전자파장해 측정 및 통계적 방법	CISPR 16-1-1~6 CISPR 16-2-1~4 CISPR TR 16-3 CISPR TR 16-4-1 CISPR 16-4-2 CISPR TR 16-4-3 CISPR TR 16-4-5 CISPR 17 IEC 61000-4-22
	각 제품 표준(product standard)과 제품군 표준(product family standard)에 기준이 되는 기본 측정 방법과 측정 장비 및 시설에 대한 규격을 논의하고 제·개정하는 위원회	

1) International Electrotechnical Commission
2) (프) Comit International Spécial des Perturbations Radioélectriques
(영) International special committee on radio interference

〈표 1-2〉 IEC/CISPR 산하 소위원회 역할 및 담당 표준

CISPR B	[제품규격] 산업용·과학용·의료용 고주파 이용기기, 산업용기기, 가공전력선, 고저압기기 및 전기철도로부터의 장애	CISPR 11 CISPR TR 18-1~3 CISPR/TR 28 CISPR 37 CISPR PAS 38
	산업, 과학, 의료용(Industrial, Scientific and Medical) 고주파 이용기기, 전기철도, 현장 시험방법 등에 대한 전자파 장애 기준을 논의하고 제·개정하는 위원회	
CISPR D	[제품규격] 자동차 및 내연엔진의 전기전자기기에 대한 전자파 방해	CISPR 12 CISPR 25 CISPR 36
	자동차 및 내연기관 내 기기의 전자파와 자동차에 설치된 수신기의 보호에 관한 전자파 장애 규격을 논의하고 제·개정하는 위원회	
CISPR F	[제품규격] 가정용 공구, 조명기기 등 가전기기의 전자파 장애	CISPR 14-1 CISPR 14-2 CISPR 15 CISPR TR 30-1~2
	가정용 전기기기, 전동공구 및 조명기기로부터 발생하는 전자파 방해 허용기준 및 측정방법과 가전기기의 전자파 내성에 관한 규격을 논의하고 제·개정하는 위원회	
CISPR H	[일반규격] 무선서비스 보호를 위한 허용기준	CISPR/TR 16-2-5 CISPR TR 16-4-4 CISPR TR 16-4-6 CISPR TR 31
	무선서비스 보호를 위하여 다른 소위원회에서 제정한 기준의 검증 및 주거환경과 산업환경에 대한 일반 규격을 논의하고 제·개정하는 위원회	IEC 61000-6-3 IEC 61000-6-4 IEC 61000-6-8
CISPR I	[제품규격] 정보기술기기(ITE), 멀티미디어 및 방송 수신기에 대한 전자파적합성	CISPR TR 29
	전파 통신용 수신기를 제외한 각종 방송 수신기, 정보기술기기(ITE), 멀티미디어기기에 대한 전자파 방해 허용기준과 측정방법 및 전자파 내성에 관한 규격을 논의하고 제·개정하는 위원회	CISPR 32 CISPR 35

개최하며 작업반 회의를 추가로 개최하고 있다.

또한, 새롭게 제안되어 추진되고 있는 일부 프로젝트들은 관련 전문가들의 작업을 위한 특별그룹(ad-hoc group)을 구성하거나 CISPR 내 소위원회 간은 물론 다른 IEC 산하 기술위원회(TC)와 공동 작업을 위하여 JTF(joint task force)나 JWG(joint working group)를 구성하여 표준화 활동을 수행하고 있다.

CISPR 의장은 스웨덴의 Ms Bettina Funk, 부의장은 네덜란드의 Mr Rowan Alexander de Vries, 간사는 영국의 Mr Stephen Colclough, 보조간사는 영국의 Mr Danny John Alan Peacock가 담당하고 있다.

제2절 2023년도 주요 회의결과

2023년도 CISPR 소위별 회의는 하이브리드 회의로 진행되었고, CISPR 총회(plenary meeting)는 11월 7일부터 11월 17일까지 전자회의로 개최되었다.

스웨덴의 Ms Bettina Funk 의장이 주관한 총회의 주요 논의 내용은 다음과 같다.

① CISPR Scope 및 제품군 재분류 추진

- ICT 기술이 발전함에 따라 융복합 제품 출시가 많아지면서 제품군별 분류가 모호해지고 있는 상황으로 기존 제품군의 분류 방식에 대한 변경 검토 추진

- 현재 주요 제품군은 ISM 기기/가전·조명/멀티미디어 군으로 나누어져 있으나, 기술의 융복합에 따라 ISM 대역이 전 방위적으로 이중 산업 등에 사용 증으로 세부 구분의 필요성이 대두됨

◦ (우리나라 대응) 산업체, 지정시험기관들과 협력하여 새로운 CISPR 제품군 분류체계를 분석하여 국제표준화 대응 필요

② 18~40 GHz 대역의 신규 전자파 시험장 검증 방법 검토

- 18 GHz 이상 대역을 사용하는 제품들이 증가함에 따라, 18 GHz 이상 대역에 대한 신규 측정 방법 및 시험장 검증 방법 관련 표준 개정 및 신규 기술 도입에 대한 논의가 진행 중
- 우리나라는 18 GHz 이상 대역의 전자파 시험장 검증 방법 개발을 위해 기존 방식(18 GHz 이하) 적용 시 검증 방법 결과에 영향을 미치는 요인(수신 안테나 빔폭, 측정 주파수 스텝)에 관한 연구 결과를 공유
- 수신 안테나 빔 폭은 시험 가능 체적과 관련이 있고, 측정 주파수 스텝에 따라 언더 샘플링이 발생하여 검증 결과에 영향을 줌
- 미국에서는 새로운 방식의 CMF(Cylindrical Mode Filtering) SVSWR* 을 제안하고, 새로운 검증 방법을 이용한 결과를 발표, 신규 시험장 검증 방법의 유효성을 판단하기에는 아직 샘플수가 부족함에 따라, 기존 방법과의 동등성 확보를 위한 측정실험 및 비교분석(문제점/개선방법)에 대한 추가 검증 예정

* CMF SVSWR(Cylindrical Mode Filtered Standing Wave Ratio)은 원통좌표계와

도파관모드의 이점을 살려 턴테이블 최외각과 중앙에서 측정하여 기존의 SVSWR 측정 방법에 비해 측정시간을 단축하게 하고 측정 절차를 간소화하여 측정불확도를 줄이는 방법임

- 18 GHz 이상 대역의 시험장 검증 방법은 연구 초기 단계에 있어 검증 결과에 영향을 미치는 요인에 관한 추가적인 연구가 필요

◦ (우리나라 대응) 우리나라는 1 GHz 이상 대역의 간소화된 안테나 교정법(C-RTM) 제안하고, 프로젝트 리더(CISPR 16-1-6/AMD3/FRAG5 ED1)를 맡아 개발 진행 중

- 지난 7월 CD 문서로 발행된 C-RTM 개정 작업에 대한 CD 문서가 회람되었으며, 7개국(영국/일본/독일 등)에서 불확도 및 안테나 위치 등에 대한 CD 문서 수정, 불확도 수치 검증에 대한 의견을 제시

- 회람문서에 대한 Technical 의견을 국내 위원회를 통해 검토하고, 12월까지 2nd CD 문서로 개발하여, 회람을 추진키로 함

③ CISPR/B(I.S.M 기기 EMC) 표준화 개정 사항 검토

- CISPR/B의 주요 표준인 CISPR 11(I.S.M 기기에 대한 EMC 측정방법) Ed.7.0의 개정 작업이 완료 예정('24.03 발간 예정)이며, 이후 후속 조치로 진행될 7.1판 AMD 작업에 대한 진행 현황 및 CISPR 37(전자파현장측정방법) 개발 현황에 대한 검토 필요
- CISPR 11의 경우 기존 CDV 문서가 WPT의 30 MHz 이하 대역에 대한 허용기준 및 주파수 대역 산정 문제로 지속적으로 부결되어 분야별로 안전을 통과시키기 위해 Fragment를 5개로 나누어 표준 개발 진행
- 기존 7.0판 개정 작업 시 무선전력전송

기술에 대한 허용기준* 산정에 이견이 많아 개정 작업에서 제외 후 신규 프로젝트로 관련 내용을 5개의 FRAG5로 나누어 허용기준 및 주파수 대역에 대한 검토 추진

* 아마추어무선국, 유럽방송연합 등에서는 30 MHz 이하 대역의 허용기준을 매우 높게 제안하고 있으나, 제조사 들은 이들이 제안한 기준에 제품을 만족시키기 어려워 허용기준 산정에 어려움을 겪고 있음

- CISPR 37 Ed.1.0에 대한 작업이 완료되어, 2nd CD 작업 진행 현황에 대한 검토 진행 예정. 이에 대한 향후 개발 방향과 현장시험방법 (in-situ test)의 적용 부분에 대한 검토 필요
- CISPR 37 Ed.1.0 제정 이후 개발될 내용인 Define site에 대한 개발 방향과 각국의 의견을 검토하여 국내 대응 추진

④ 전기자동차 관련 전자파 방해 시험방법 개발

- 자동차/전장품 관련 전자파 방해 표준을 개발하는 위원회로 최근 전기자동차의 수요 증기에 따른 전기자동차 관련 전자파 방해 표준 개발 중
- 전기자동차의 운용 환경(구동/충전)을 고려한 허용기준 및 EMI 허용기준 산정 논의
- 전기자동차의 상용화 및 충전환경 등에 대한 사용 환경의 다각화에 따라 이에 대한 세부 보호기준 도입에 대한 논의
- 기존 허용기준은 Peak 값을 허용기준으로 사용하고 있었으나, 점차 전동화되어가는 자동차 환경에 맞게 기존 전자제품들이 사용하는 Quasi-peak로 허용기준 산정에 대한 투표 진행

- 자동차 허용기준에 Quasi-peak 도입과 관련하여, 허용기준 적용에 대한 합의 불일치로 향후 방향에 대한 회람문서 발행을 통해 의견 취합 예정

- 전기자동차의 다양한 운용 환경을 고려한 Dynamic test mode(가감속/회생제동)에 대한 전자파 방해 기준 개발 STF 작업반 구성

- (우리나라 대응) 국내에서는 현대자동차에서 전기자동차의 다양한 운용 환경을 고려한 Dynamic test mode(가감속/회생제동)에 대한 전자파 방해 기준에 대한 개발 작업반에 참여하여 대응 추진
- CISPR 25 차기 Ed.6.0 개정은 기존 3개의 파트-세부 파트(Part 1: 공통, Part 2: 차량 시험, Part 3: 부품 시험)로 나누어 개발을 추진하려고 하였으나, 개발 현황에 대한 의견 진행 시 반대가 많아 파트 구분 없이 개정 추진
- 파트 분리 시 적용되는 문제사항에 대한 (용어정의/중복사항/발간지연) 리스크 발생 요소가 커 차기 개정판의 발간이 지연되는 문제점 등에 대해 각국에서의 우려 사항이 제안되어, 기존의 분리 개정 개발이 취소
- 1 ~ 6 GHz 시험장 검증 안테나 개정 논의
- 기존 500 mm LW(long wired) 안테나의 고주파 공진 개수를 줄이기 위해 100 mm LW 안테나를 일본에서 제안
- 수신 안테나 타입별 검증 결과에 대한 논의가 있었으며, 추가적으로 안테나 브라켓 사이즈 영향에 대한 추가 검토 예정
- (우리나라 대응) 국내에서는 일본과 공동으로

브라켓 사이즈 영향 검토를 진행하여, 차기 회의에 기고 추진 예정

- IEC 61000-6-3의 측정조건에 따른 Highest internal frequency 적용
- EUT 내부에서 사용되는 최대 주파수에 따라 측정 주파수 범위를 결정하는 측정 조건을 CISPR 11과 같이 Definition과 Note 추가 논의 필요
- CISPR 16-1-2 측정 조건에 부합하는 전류 프로브 요구사항 적용
- CISPR 25 시험에 사용되는 전류 프로브의 전달 임피던스와 바닥 잡음을 조사하고, 성능이 우수한 전류 프로브의 전달 임피던스 사양에 맞추어 CISPR 16-1-2 요구사항을 변경할 것을 제안

제2장

18 GHz 이상 대역 시험장 평가방법 표준화 동향

김정환 기술고문
(교정기술원)
이성규 파트장
(엘지전자)

제1절 CISPR A 소위원회 개요

제2절 18 GHz 이상 대역 시험장 평가방법 표준화 동향

제3절 향후 계획

▶ 제1절 CISPR A 소위원회 개요

CISPR A는 전자파장해 측정 및 통계적 처리 방법(Radio-interference measurements and statistical methods) 소위원회(SC, Subcommittee)로, 전자파적합성(EMC) 평가를 위한 측정과 관련된 기본표준(basic standard)을 담당하는 IEC CISPR 산하 위원회이다. 각 제품 표준에 공통적으로 적용되는 야외시험장을 비롯한 측정 시설 및 측정 장비에 대한 규격과 평가방법, 시험 항목별 측정방법, 측정의 재현성(reproducibility)과 반복성(repeatability)을 높이기 위한 측정불확도(measurement uncertainty) 등에 관한 내용을 다루고 있다.

CISPR A 소위원회의 구성과 임무는 다음과 같다. CISPR A의 의장(Chair)은 이탈리아의 Mr. Beniamino Gorini, 간사(Secretary)는 미국의 Mr. Nicholas Abbondante가 담당하고 있으며, WG 1의 컨비너(Convenor)는 핀란드의 Mr. Janne Nyman, 간사(Assistant Convenor)는 영국의 Martin Wiles, WG 2 컨비너는 독일의 Mr. Jens Medler, 간사는 호주의 Mr. Yu Ji가 담당하고 있다. 또한 AHG 1 컨비너는 오스트리아의 Alexander Kriz, AHG 2 컨비너는 독일의 Mr. Jens Medler가

담당하고 있다. 또한 18 GHz ~ 40 GHz 주파수 대역에서의 측정장비와 측정법 및 불확도를 다루기 위한 AHG 7과 AHG 8은 각각 중국의 Ms Qiongyu Ye와 Mr Beniamino Gorini가 컨비너를 담당하고 있다.

CISPR A는 각 제품군 표준에서 규정된 측정기기 및 측정방법을 기본규격에 반영하기 위하여 해당 소위원회에 공동작업반(JTF, Joint Task Forces)을 운영하고 있으며, JTF A/I 공동 컨비너는 이탈리아의 Beniamino Gorini와 미국의 Andrew Griffin이 담당하고 있다. JTF REV 공동 컨비너(co-convenor)는 네덜란드의 Dr. Ramiro Serra와 독일의 Dr. M. Magdowski가 수임하고 있다. JTF TEM의 경우 독일의 Dr. D. Hamann가 컨비너를 담당하고 있다. CISPR I와 연관되어 EUT 케이블 배치와 케이블 단말에 관한 연구를 수행하는 JAHG 6은 이탈리아의 Mr. Beniamino Gorini와 일본의 Mr. Kunihiro Osabe가 공동 컨비너를 수임하고 있으며 2022년 회의에서 참가하는 소위를 CISPR B, F, H로 확대하기로 결정하였다. 또한 TC 77과 CISPR A가 공동으로 참여하는 측정불확도 보수작업반 JMT MU는 이탈리아 Mr Carlo Carobbi가, CISPR D와 시험장 검증법을 논의하는 공동작업반 JWG A-SITE-VAL은 미국의 Mr Craig Fanning가

컨비너를 맡고 있다. 2022년 회의에서 제안된 “Rapid emission check of installations”에 대하여 CIS/A, CIS/B, CIS/H 참여하는 JWG9 (컨비너 노르웨이 Mr Roger Marthinsen)이 결성되어 본격적 논의가 시작될 계획이다.

CISPR A의 활동에 대응하는 국내 EMC 기준전문위원회 A 소위원회는 교정기술원(전 한국표준과학연구원)의 김정환 의장을 중심으로 충북대학교, 한국건설생활환경시험연구원, 한국스마트헬스케어협회, 삼성전자, 한국산업기술시험원, 케이씨에스에스, 키와코리아, 로데슈바르츠, 에이치 시티, 한국과학기술원, 한국전자기술연구원, 한국기계전기전자시험연구원, 충남대학교, 엘지전자, 공주대학교, 국립전파연구원, 한국정보통신기술협회, 한국전파진흥협회 등 21명의 전문가가 활동하고 있다.

제2절 18 GHz 이상 대역 시험장 평가방법 표준화 동향

무선통신 기술의 급속한 발전에 따라 고주파수 대역의 사용이 증가하고 있다. 이 중 5G 이동통신 등 차세대 통신기술은 이에 대한 대표적인 예시로, 이러한 기술의 효과적인 구현을 위해서는 18 GHz 이상의 고주파수 대역의 통신기기의 성능을 검증하는 것이 필수적이다. 이러한 환경에서 전자파 장애(EMI)는 기기의 성능과 안전성에 중대한 영향을 미치는 요소로 대두되면서 18 GHz 이상 대역에서의 시험방법 및 시험장 평가방법에 대한 표준화가 진행되고 있다. 현재 CISPR에서는 18 GHz 대역까지 시험장 전압정재파비(SVSWR) 방법으로 기준(6 dB) 적합성을 평가하도록 규정되어 있지만, 18 GHz 이상 대역에 대한 시험장 평가방법에 대한 규정은 없다. 또한 ANSI에서도 18 GHz 이상 대역의 시험장 평가방법에 대한 규정은 없지만, ANSI C63.25-1에서 18 GHz까지 검증된 시험장은 18 GHz ~ 40 GHz

〈표 2-1〉 CISPR A 소위원회(Subcommittee) 구성

구분	역할
WG 1	EMC 측정기기 규격 (CISPR 16-1 시리즈, CISPR 17 개정)
WG 2	EMC 관련 측정기술, 통계 처리방법 및 불확도 규격 (CISPR 16-2/-3/-4시리즈 개정)
JWG 9	설비에 대한 신속 방출 조사 (CIS/B, CIS/H)
JWG A-SITE-VAL	시험장 검증법의 공동작업반 (CIS/D)
AHG 2	30 MHz 이하 측정방법 및 불확도
AHG 7	18 - 40 GHz 대역 계측
AHG 8	18 - 40 GHz 대역 측정방법 및 불확도
JTF JTF-A/I	I 소위 표준의 측정방법을 CISPR-16 시리즈에 추가하기 위한 프로젝트 (CIS/I)
JTF REV	전자파 전향실 기반의 측정·평가 기본규격(IEC 61000-4-21)에 대한 보완 (SC77B)
JTF TEM	TME Waveguide 기반의 측정·평가 기본규격(IEC 61000-4-20)에 대한 보완 (SC77B)
JMT MU	IEC 61000-1-6(Measurement uncertainty)의 공동 유지보수반 (TC 77)
JAHG 6	EUT 케이블 배치 및 케이블 단말 (CIS/I)

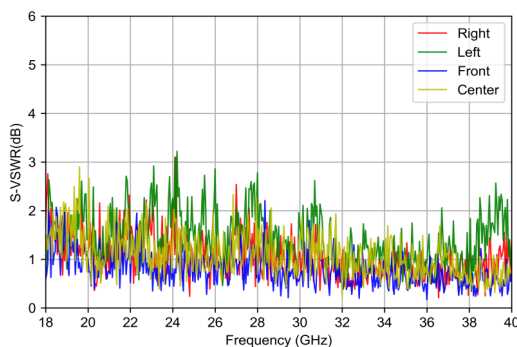
대역에서도 시험장의 적합성이 확보된 것으로 간주하고 있다. 이러한 이유로 '22년 CIS/A에서는 AHG를 설립하여 18 GHz 이상 대역의 구역, 시험방법, 시험장 평가방법 등 표준화 작업이 진행 중에 있다. '23년 9월 런던에서 진행된 CISPR A 총회 및 WG 회의에서는 한국을 비롯하여 일본, 중국, 미국이 18 GHz 이상 대역 시험장 평가방법에 대한 발표를 진행하였다.

1. 18 GHz 이상 시험장 평가방법 측정결과 발표(한국)

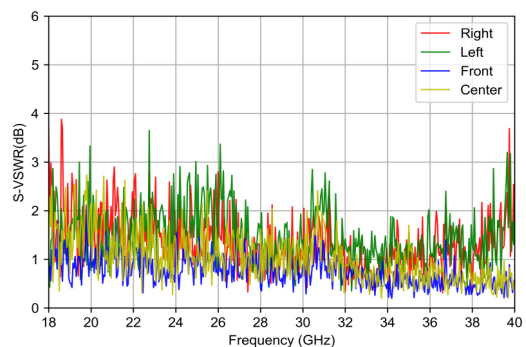
한국NC는 '22년 18 GHz 이상 대역 시험장 평가 결과 발표에 이어, '23년 런던에서 18 GHz 이상

대역에서 시험장 평가 결과에 영향을 주는 요인들을 추가로 발표하였다. 첫 번째로 시험 체적(수신 안테나 빔폭)에 따른 측정 결과를 발표하였다. 3 dB 빔폭이 서로 다른 안테나(Narda, ETS-Lindgren)를 사용하여 측정 결과를 비교하였다. 아래 그림 2-1과 2-2에서 볼 수 있듯이, 시험 체적 2m에서 측정 결과가 CISPR의 6 dB 기준을 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

그러나 아래 그림 2-3은 3 m 시험 체적에서의 SVSWR 측정결과를 나타낸다. 시험 체적이 증가함에 따라 결과가 전반적으로 나빠지는 것을 관찰할 수 있다. 더 넓은 빔폭을 가진 ETS-Lindgren 안테나로 수행된 측정은 CISPR 기준을 충족하는 반면, Narda 안테나로 수행된 측정은 기준을 만족하지 못하는 것을

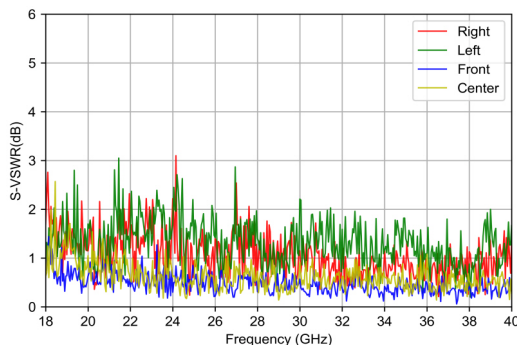


(a) Horizontal

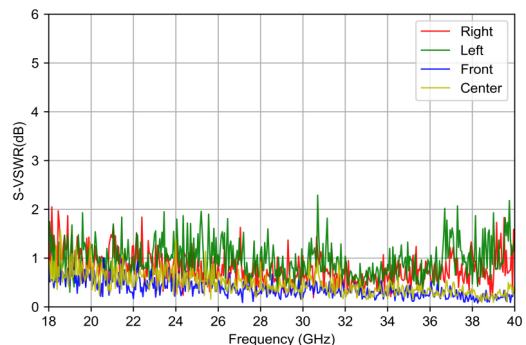


(b) Vertical

[그림 2-1] SVSWR 측정결과(ETS-Lindgren 안테나 사용) @ 2m 체적

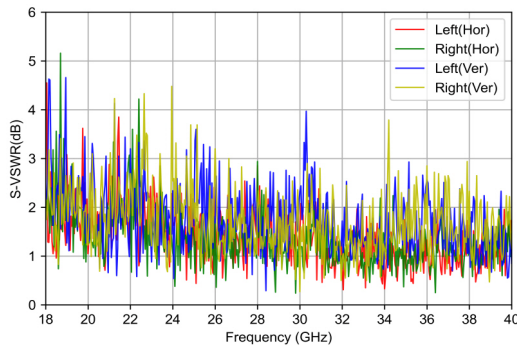


(a) Horizontal

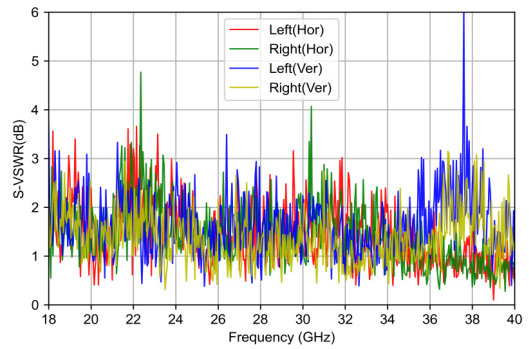


(b) Vertical

[그림 2-2] SVSWR 측정결과(Narda 안테나 사용) @ 2m 체적



(a) ETS-Lindgren



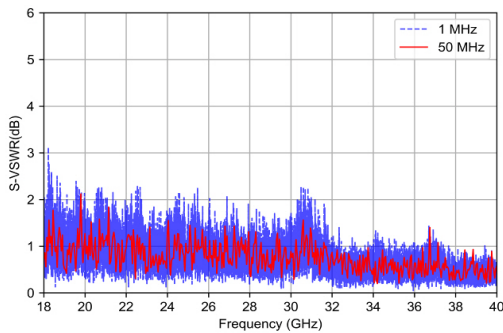
(b) Narda

[그림 2-3] SVSWR 측정결과 @ 3m 체적

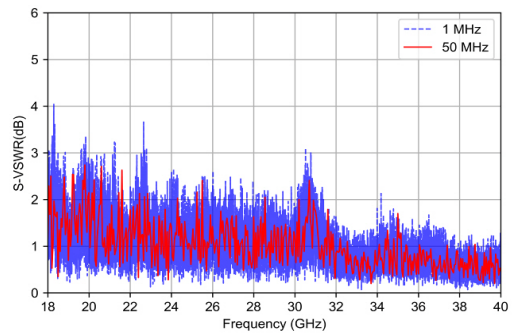
확인할 수 있다. 이에 따라, 수신안테나의 빔폭과 시험 체적은 SVSWR 측정 결과에 영향을 미치는 중요한 파라미터임을 알 수 있다.

또한, 측정 주파수 간격에 의한 SVSWR 측정결과

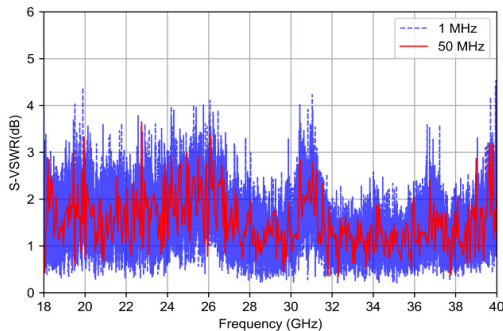
영향을 확인하기 위해, 1 MHz와 50 MHz 두 개의 측정 주파수 간격으로 측정을 수행하였다. 그 결과 아래 그림 2-4, 2-5와 같이 50 MHz 측정 주파수 간격으로 측정한 결과에서 언더샘플링(제한된 측정



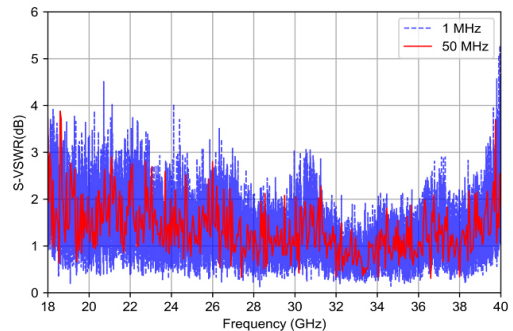
(a) Front



(b) Center

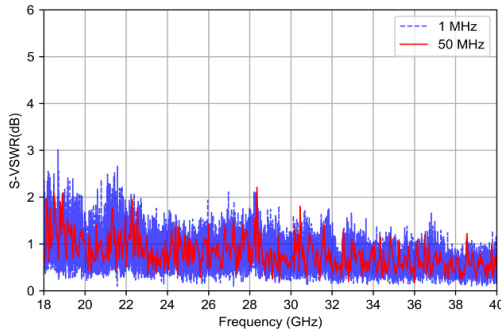


(c) Left

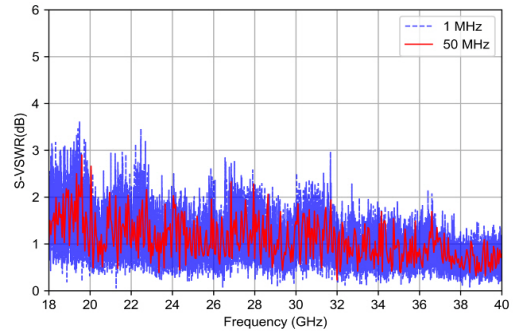


(d) Right

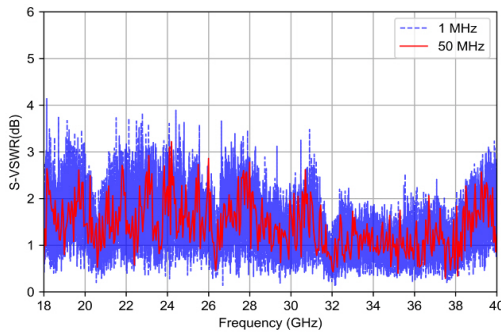
[그림 2-4] SVSWR 수직편파 측정결과(18 GHz ~ 40 GHz) @ 2m 시험체적



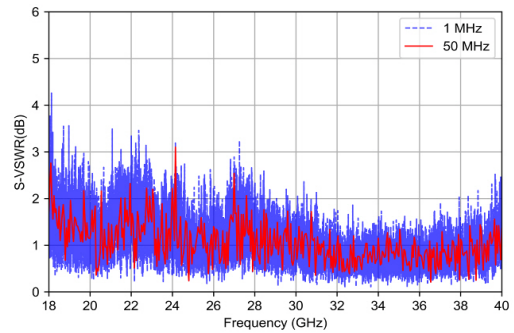
(a) Front



(b) Center



(c) Left



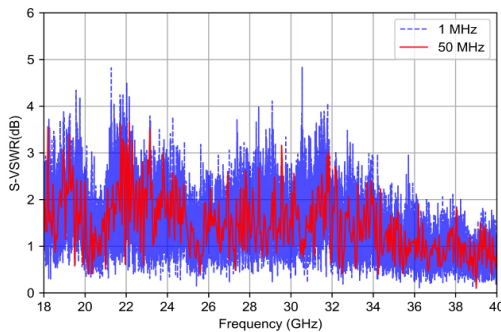
(d) Right

[그림 2-5] SVSWR 수평면파 측정결과(18 GHz ~ 40 GHz) @ 2m 시험체적

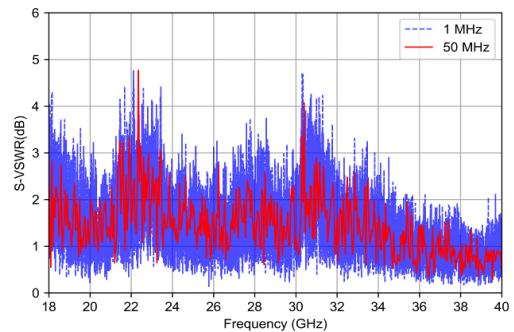
위치 수에 의하여 결과가 좋게 나타나는 현상)이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

또한, 3m 시험 체적에서 Narda 안테나로 측정한 주파수 측정 간격에 따른 SVSWR 결과를 비교했다. 일부 영역에서는 주파수 측정 간격에 따라 3 dB

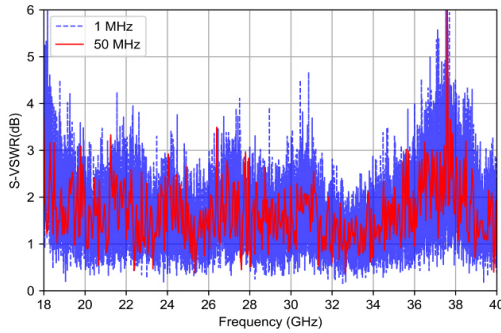
이상의 차이가 관찰될 수 있습니다. 허용 오차 범위가 제한적인 측정 시설의 경우, 주파수 측정 간격에 따라 적합성 또는 부적합성 결과에 변동이 생길 수 있다고 추론됩니다. 따라서 주파수 측정 간격은 SVSWR 측정 결과에 영향을 미치는 파라미터로 간주할 수 있다.



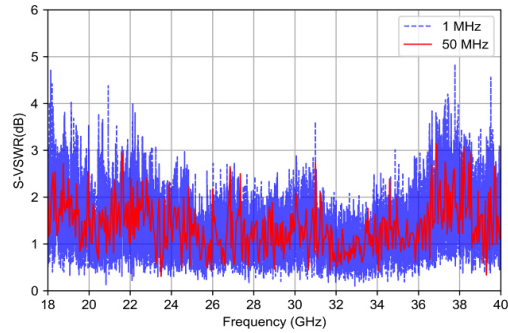
(a) 수평 Left



(b) 수평 Right



(c) 수직 Left



(d) 수직 Right

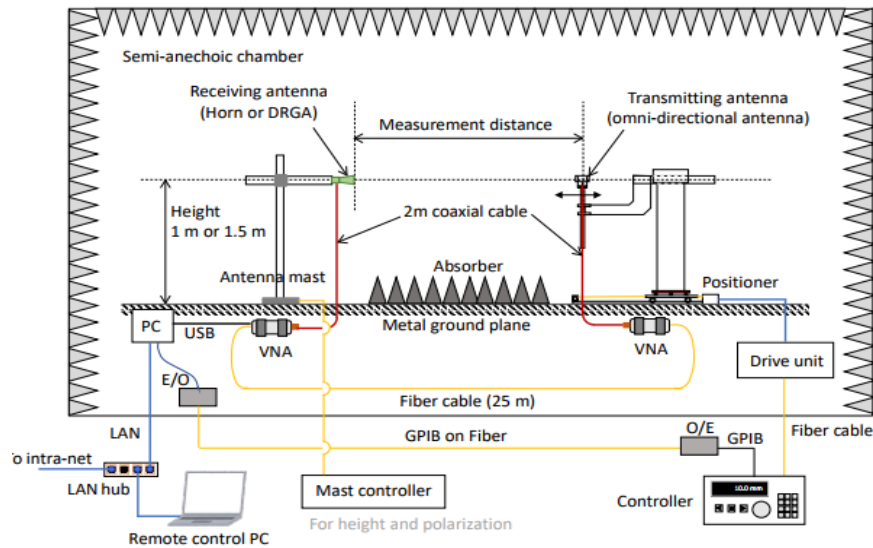
[그림 2-6] SVSWR 측정결과(18 GHz ~ 40 GHz) @ 3m 시험체적

2. 18 GHz 이상 시험장 평가방법 RRT 측정결과 발표(일본)

일본NC는 '22년 샌프란시스코 회의에서 18 GHz 이하 대역에서 CISPR 16-1-4의 규격을 부합하는 경우 18 ~ 40 GHz 대역의 시험장 평가방법 생략을 제안하였다. 하지만 하나의 시험장에서의 측정결과로 유효성 문제가 제기되어 일본은 6개 시험장에서 RRT(Round Robin Test)를 진행하였다. 아래 그림

2-7과 같이 모듈형 벡터회로망분석기(VNA)와 광 케이블을 사용하여 케이블에 의한 손실 및 측정결과 변동성을 최소화하여 측정시스템을 구성하였다.

아래 표 2-2에 6개 시험장에서의 SVSWR 측정 결과를 나타내며, 그림 2-8은 주파수 대역별 SVSWR 측정결과는 나타낸다. 모든 시험장에서는 CISPR 16-1-4 표준에 설명된 6 dB 사양을 만족하는 것을 확인할 수 있다. 시험장이 18 GHz 이하 대역에서 SVSWR 규격을 준수하는 경우, 18 GHz 이상의

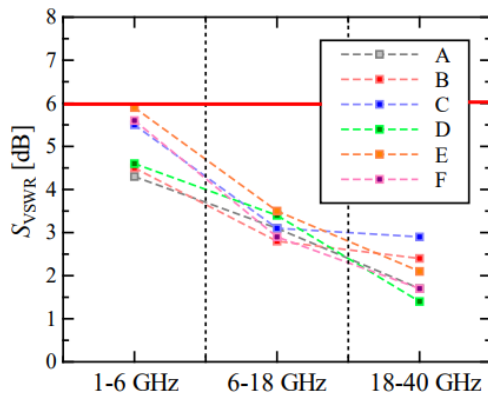


[그림 2-7] 18 GHz 이상 시험장 평가를 위한 측정시스템 구성도

주파수 대역에서도 동일한 검증 방법으로 규격을 만족한다. 또한, 18 GHz ~ 40 GHz 대역의 SVSWR 측정 결과가 1 GHz ~ 18 GHz 대역보다 작은 것을 나타낸다.

〈표 2-2〉 SVSWR 측정결과

Site (Test volume)	S _{VSWR} [dB]		
	1-6 GHz	6-18 GHz	18-40 (43.5) GHz
A (2.0 m)	4.3 (LV)	3.1 (CH)	1.7 (LH), 1.8 [†]
B (1.0 m)	4.5 (CV)	2.8 (CH)	2.4 (RH), 2.4 [†]
C (2.0 m)	5.5 (LV)	3.1 (LV)	2.9 (LV), 2.9 [†]
D (2.0 m)	4.6 (CH)	3.4 (LV)	1.4 (RH), 1.6 [†]
E (2.0 m)	5.9 (CV)	3.5 (RH)	2.1 (CV), 2.4 [†]
F (1.0 m)	5.6 (RV)	2.9 (RH)	1.7 (RV), 1.7 [†]



[그림 2-8] SVSWR 측정결과

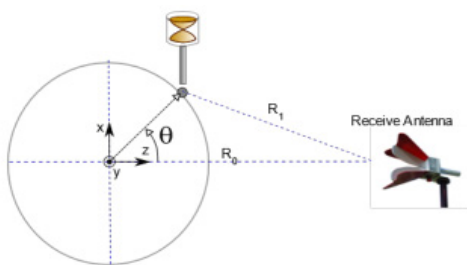
결론적으로 18 GHz ~ 40 GHz 대역에서의 SVSWR 값은 18 GHz 이하 대역의 SVSWR 값보다

작다. 이는 시험장이 18 GHz 이하 대역에서 6 dB SVSWR 기준을 부합하는 경우 18 GHz ~ 40 GHz 대역의 사이트 검증을 생략할 수 있음을 시사한다. 하지만 해당 결과는 수신 안테나 빔폭이 시험 체적을 커버할 수 있는 2 m 이하의 측정 결과로, 시험 체적이 커지는 경우에는 적용되지 않는다는 이슈가 존재한다.

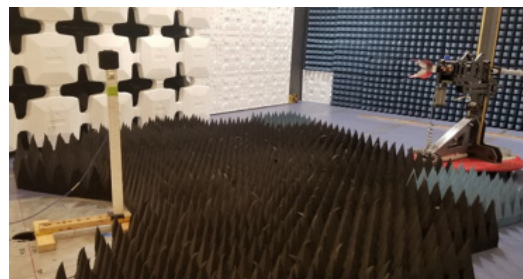
3. 18 GHz 이상 새로운 시험장 평가방법 발표(미국)

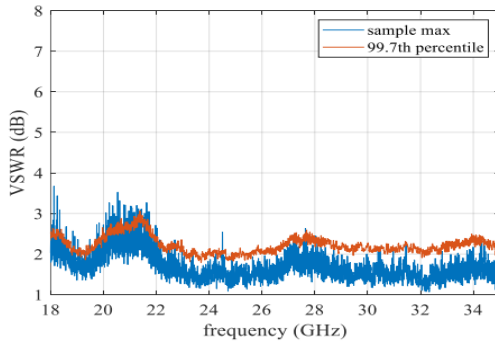
미국NC는 새로운 시험장 평가 방법인 CMF (Cylindrical Mode Filtered) SVSWR을 제안하였다. CMF SVSWR 측정 방법은 시험장의 QZ(Quiet Zone) 주변의 리플을 측정하여 18 GHz ~ 40 GHz 대역의 VSWR을 측정하는 방법이다. 기존의 CISPR 16-1-4의 SVSWR 방법과 달리, CMF SVSWR 방법은 리플의 크기를 기준 패턴과 비교하여 얻고, 필터링하여 측정하는 방법이다. CMF SVSWR 방법은 40 GHz 이상으로 확장이 가능하며, 공간 샘플링에 대한 문제가 없다. 또한 측정시간은 20분 정도로 단축할 수 있다는 장점이 있다.

CMF SVSWR 측정 절차는 QZ 가장자리에 송신 안테나를 배치하고 정해진 각도(예2도)로 턴테이블을 회전시키면서 관심 있는 주파수에서의 벡터 응답(S21) 데이터를 수집한다. 수집된 데이터를 원통모드 필터링을 통해 불필요한 데이터 또는 노이즈를

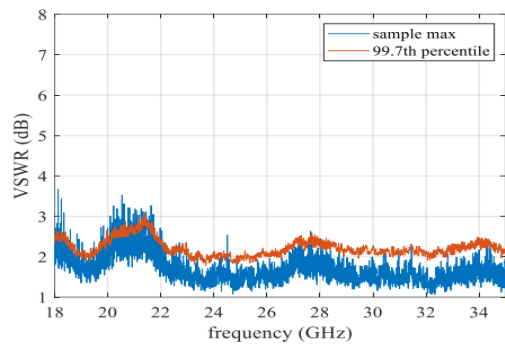


[그림 2-9] CMF SVSWR 측정 구성도

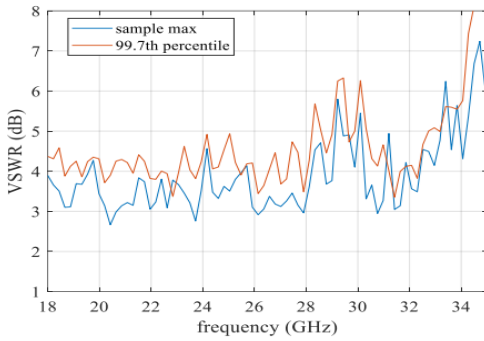




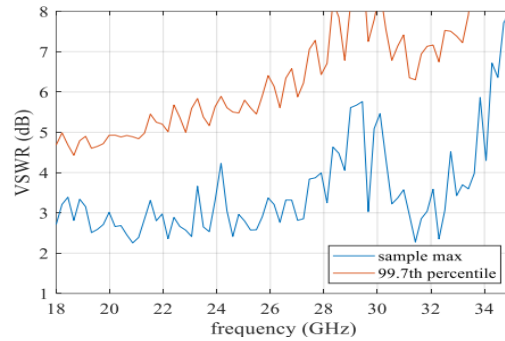
(a) Chamber 1



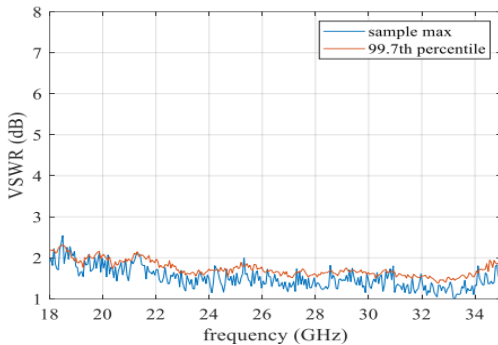
(b) Chamber 2



(c) Chamber 3



(d) Chamber 4



(e) Chamber 5

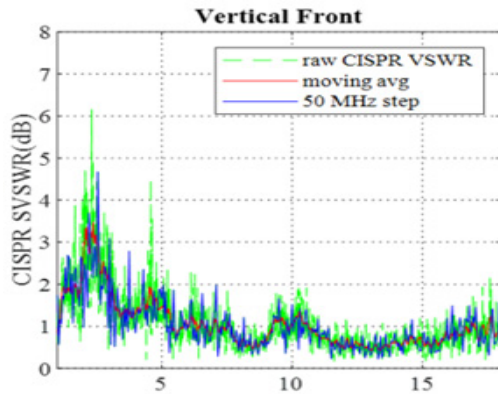
[그림 2-10] CMF SVSWR 측정결과

제거하고 SVSWR을 계산할 수 있다.

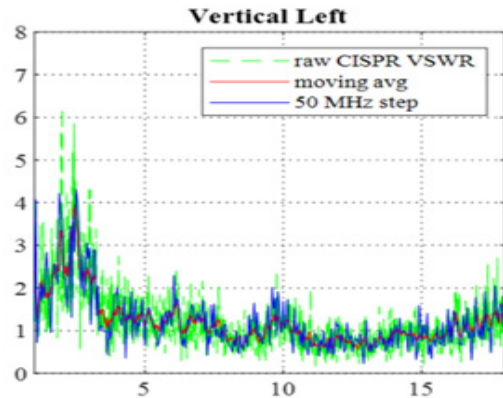
1 GHz ~ 18 GHz 대역에서 CISPR 16-1-4의 기준을 만족하는 5개의 시험장에서 CMF SVSWR을 수행하였으며, 측정 결과는 그림 2-10과 같다.

측정 결과를 살펴보면 시험장 간에 뚜렷한 차이를

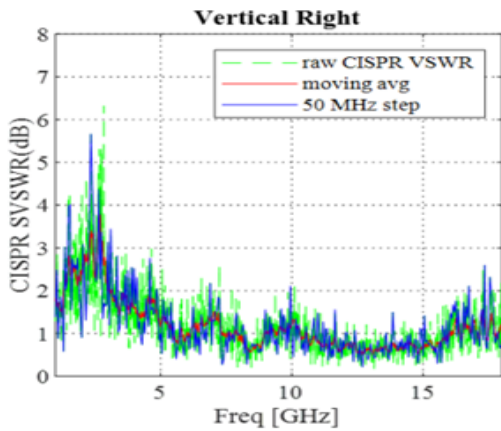
보여준다. 특히, 1 GHz ~ 18 GHz 범위에서 CISPR 16-1-4의 기준을 충족하는 것이, 18 GHz 이상 대역에서 동일한 성능을 보장하지는 않음을 확인하였다. 또한 CMF SVSWR 측정 결과는 CISPR SVSWR 방법과 TD-SVSWR과 상관관계를 가지고



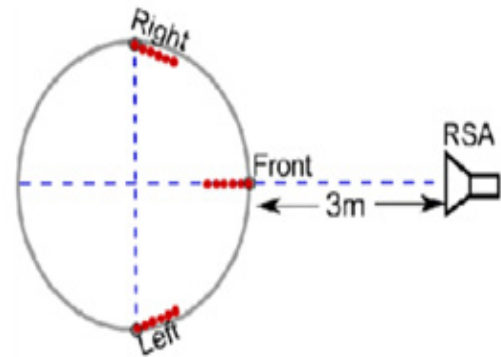
(a) Vertical Front



(b) Vertical Left

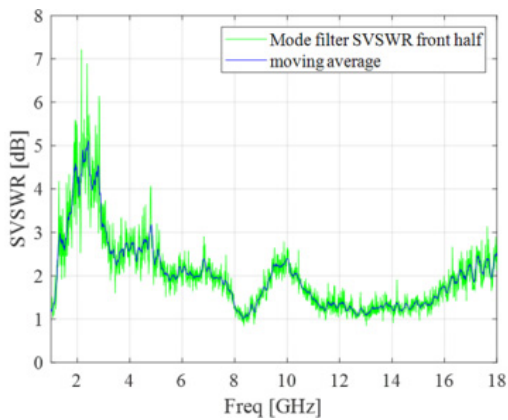


(c) Vertical Right

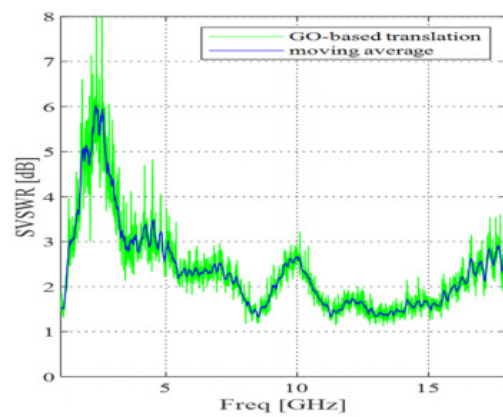


(d) 구성도

[그림 2-11] SVSWR 측정결과(1 GHz ~ 18 GHz) @ Chamber 1



(a) Front Half of the QZ circle



(b) Front Full QZ circle

[그림 2-12] CMF SVSWR 측정결과(1 GHz ~ 18 GHz) @ Chamber 1

있음을 확인하였다. 그림 2-11과 2-12를 보면, 전체적인 패턴과 주파수 특성에서의 결과가 CMF SVSWR과 CISPR SVSWR 방법이 일치하는 것을 확인할 수 있다.

CMF SVSWR은 QZ(Queit Zone) 주변에서 다수의 측정으로 더 많은 데이터를 수집하여 통계적으로 후처리를 용이하게 함으로써 SVSWR 결과의 강인성(Robustness)을 향상할 수 있습니다. 특정 주파수에서의 리플 데이터는 레일리 분포와 유사한 특성을 보인다. 이러한 결과는 SVSWR 결과가 측정 위치에서 최대, 최소의 값에만 의존하지 않음을 나타낸다.

제3절 향후 계획

18 GHz 이상 대역의 시험장 평가에 관한 국제표준화는 '22년 9월부터 시작되었으며, '25년 2월까지 개발 완료를 목표로 진행하고 있다. 현재 CISPR A WG1에서는 18 GHz 이상 대역의 시험장 평가 방법은 표준화 초기 단계이며, 이에 관한 각국의 데이터를 수집하여 활발한 논의가 추진되고 있다. 또한, 미국에서는 새로운 시험장 평가 방법인 CMF SVSWR 시험장 평가에 관한 결과를 발표하였으며, 국내에서도 해당 내용에 대한 검증과 18 GHz 이상 대역의 추가적인 연구가 필요하다. CISPR A WG1 차기 회의는 '24년 중국(상하이)에서 진행될 예정이다. 한국은 18 GHz 이상 대역 시험장 평가에 대한 연구를 활발히 진행하고 있으며, 차기회의에서는 수신 안테나 빔폭 향상 방법과 좁은 빔폭의 수신 안테나를 활용한 검증 방법에 대한 한국의 기고를 요청하여 해당 연구 결과를 차기 회의('24.2월)에 발표할 예정이다.

또한 기존의 CISPR SVSWR 방법에 대한 분석/측정연구 및 측정데이터의 통계적 처리방법 적용 등을 통하여 CISPR SVSWR이 내재적으로 가지고 있다고 이야기하는 under-sampling 문제를 개선하고, TD-SVSWR과 CMF SVSWR과의 동등성을 확보할 수 있는 방안에 대한 연구도 추진할 계획이다.

참고문헌

- [1] CISPR/A/1242/DC
- [2] Report for RE specifications for 18GHz-40GHz 2020-11-25 (Ye)
- [3] CISPR/A/WG1/AHG7 (Ye) 22-04
- [4] CISPR/A/WG1/AHG7 (Park) 22-05
- [5] CISPR/A/WG1(Chakarothai, Fujii, Mitsuzuka) 22-01
- [6] CISPR/A/WG1 (SH.Park, SK.Lee, DS.Jin, YS.Shim, HJ.Kim) 23-01
- [7] CISPR/A/WG1 (Chakarothai, Fujii, Mitsuzuka, Shimasaki) 23-01
- [8] CISPR/A/WG1 (Chen) 23-01

제3장

CISPR 11(산업/과학/의료기기의 EMI 규제) 표준화 동향

전양배 팀장
(한국과학기술원)
안중선 팀장
(엘에스일렉트릭)

제1절 개요
제2절 CISPR 11 ED7 표준 동향
제3절 향후 계획

제1절 개요

CISPR 11(Industrial, scientific and medical equipment - Radio-frequency disturbance characteristics - Limits and methods of measurement) 표준은 산업/과학/의료기기의 EMI 규제에 대한 국제표준으로 CISPR B 위원회에서 관련 표준의 개정을 담당하고 있다. CISPR B는 산업·과학·의료용 전자파 발생기기, 대전력 산업용 전기설비 및 고전압(Interference relating to industrial, scientific and medical radio-frequency apparatus, to other heavy industrial equipment, to overhead power lines, to high voltage equipment and to electric traction) 관련 소위원회로 기기, 전기철도에 대한 전자파 장애, 산업/과학/의료(ISM)용으로 이용되는 전파응용 장비, 기타 산업용 중장비, 가공 전력선, 고전압 장비, 전기철도 등에서 발생하는 혼신 문제에 대하여 논의한다. 특히, 비통신용의 ISM 장비, 고출력 반도체 조절 소자 등의 장비들로부터 발생하는 전자파에 대한 방출 허용기준과 측정 방법의 규정 및 개정에 관한 프로젝트를 수행한다.

CISPR B 소위원회의 구성과 임무는 다음과 같다.

〈표 3-1〉 CISPR B 소위원회(Subcommittee) 구성

구분	역할
WG1	산업·과학·의료용(ISM) 전자파발생 기기에 대한 전자파 장애 연구 (CISPR 11 개정)
WG2	가공 전력선, 고전압 장비와 전기 철도와 관련전자파 장애 연구 (CISPR 18시리즈 개정)
WG7	ISM 기기 - 현장(In situ) 측정 및 대형/대전력 기기의 측정
AHG3	반도체 전력 변환기(SPC)
AHG4	무선전력전송(WPT)

CISPR B의 의장은 독일의 Dr. Bernd Jäkel, 간사는 일본의 Mr. Hirokazu Tokuda가 담당하고 있으며, WG1의 컨비너는 영국의 Mr. Steve Hayes, 간사는 독일의 Dr. Bernd Jäkel, WG2의 컨비너는 한국의 안희성, 간사는 일본의 Mr. Kunihiro Kawasaki, WG7의 컨비너는 한국의 전양배와 중국의 Ms. Ye Qiongyu이 공동으로 맡고 있으며, AHG3의 컨비너는 일본의 Mr. Yasutoshi Yoshioka, AHG4의 컨비너는 일본의 Mr. Fumito Kubota가 수입하고 있다.

〈표 3-2〉 CISPR 11 진행 프로젝트

번호	프로젝트 번호	프로젝트명	진행단계 (관련문서)
1	CISPR 11 ED7	산업, 과학, 의료용(ISM) 기기 — 무선 주파수 방해 특성 — 허용 기준 및 측정방법 FRAG1 ~ FRAG7으로 분할하여 프로젝트 진행 1) CISPR 11 FRAG1 ED7 무선전력전송(WPT) 한계치 및 측정방법 2) CISPR 11 FRAG2 ED7 용어정의, 부속서 및 기타 3) CISPR 11 FRAG3 ED7 WPTAAD(WPT at a distance) 기기의 무선 빔 요구사항 4) CISPR 11 FRAG4 ED7 로봇 측정 요구사항 5) CISPR 11 FRAG5 ED7 유선 네트워크 포트 요구사항 6) CISPR 11 FRAG6 ED7 1 GHz 초과 대역의 복사성 방출 요구사항 7) CISPR 11 FRAG7 ED7 무선 주파수 구동 제품 요구사항 ※ FRAG1은 WPT 관련 각 국가 NC의 합의에 이르지 못해 금번 ED7에서는 제외되었으며, FRAG3의 WPTAAD에 대해서는 PAS(Publicly Accessible Standard)로 먼저 발행 후, 향후 CISPR 11에 병합 예정임. 따라서 금번 CISPR 11 ED7 진행 표준에는 FRAG2, 4, 5, 6, 7이 반영되었음.	FDIS 진행 중 (CIS/B/831/FDIS)

제2절 CISPR 11 ED7 표준 동향

1. CISPR 11: 용어 정의 및 기타 사항

가. 기본정보

- CISPR 11 전체 용어 정의, 부속서 및 기타 전반적인 사항에 관한 내용으로, ‘Miscellaneous, definitions and annexes’ 제목으로 FRAG3로 분할 진행됨

나. 주요 내용

① 개요: CISPR 11 ED7 개정 일반 사항

- CISPR 11의 유지 보수 필요성에 따라, 2019년 중국 상해 CISPR 총회 시 각국의 의견수렴을 거쳐, 논의할 사항을 7개의 소 주제로 분할하여 진행하기로 함. Fragment 2는 Miscellaneous, definitions and annexes 내용으로 용어 정의, 부속서 및 기타 나머지 개정 내용을 다룸

② 용어 정의

- ‘small equipment under test(small EUT)’ 용어 정의 변경. CISPR 16-2-3: 2019에서 3 m 측정 거리에 대한 체적 사용을 위해 용어 정의 변경함. ‘equipment under test, either positioned on a table top or standing on the floor, which, including its cables, fits in a cylindrical volume of 1,5 m in diameter and 1,5 m height (as measured from the floor), 탁상 설치용 또는 바닥 설치용으로, 케이블을 포함하여 직경 1.5 m 및 바닥으로부터 1.5 m 높이인 원통 체적에 적합한 EUT’
- ‘associated equipment(AE)’ 용어 정의 추가. apparatus that is not part of the system under test, but needed to help exercise the EUT, 시험 대상 시스템 일부는 아니지만, EUT 동작에 도움이 필요한 보조기기’
- ‘fundamental frequency(fundamental ISM frequency)’ 용어 추가. ‘frequency on

which the ISM equipment operates, ISM 기기 동작에 사용되는 주파수'

③ 허용기준

- Table 3 (class A group 1기기의 d.c. 전원포트 전도 방해 허용기준)에서 정격 용량 20 kVA 초과에서 75 kVA 이하, 75 kVA 초과 기기에 대한 허용기준 적용 시 주석 추가 '전압 허용기준 또는 전류 허용기준을 적용함' (전압 및 전류를 모두 측정해야 한다고 잘 못 이해할 수 있음을 방지하기 위함)

④ 측정 요구사항

- 의사 DC 회로망(DC-AN): 저압 DC 전원 포트의 방해 전압측정을 위해 기존 CISPR 11 ED 6.2에서 제시하던 Annex I 내용을 삭제하고, CISPR 16-1-2: 2014 + AMD1: 2017의 150 Ω 의사 전원 델타 회로망을 적용하는 것으로 명기함 [DC-AN을 CISPR 11에서 먼저 제시하여 적용하였으며, 측정법에 대한 기본규격(Basic standards)인 CISPR 16-시리즈에서 해당 측정설비 및 방법을 채택함에 따라, CISPR 11의 Annex I를 삭제하는 것임. 함께 제시되었던 부대칭 모드(Unsymmetrical Mode: DM) 방해 전압 측정법(Method A)은 삭제되고, 공통모드 및 차동모드 방해 전압 측정법(Method B)만 유지됨]
- 30 MHz 이하 대역의 루프 안테나 사용: 루프 안테나의 설치에서 접지면으로부터 루프 안테나의 중앙 높이가 1.3 m가 되도록 명기 [기존에는 루프 안테나의 가장 낮은 지점의 위치를 1 m로 명기하였으며, 일반적인 루프 안테나 직경이 60 cm임을 감안하여 동일한

내용이나, 루프 안테나 크기가 달라지는 경우, 측정값이 상이해지는 것을 감안하여 높이 통일함

- 보조기기 배치: 보조기기가 시험 체적에 들어오지 않는 경우, 측정에서 제외되거나 시험 환경으로부터 감결합 되어야 함. 보조기기로 연결되는 케이블이 시험 체적 밖으로 확장될 수 없는 경우, 보조기기는 EUT 구성 주변의 허원(Imaginary circle)내에 위치해야 함.
- CMAD 사용: 공통모드흡수장치는 전도 방출 측정에 사용하지 않음을 명시
- 전도 방해 측정: 바닥 설치용 기기에 대해서는 방사 측정에 사용된 구성과 동일한 조건으로 OATS(아외시험장) 또는 SAC(반무반사실)에서 시험하고, 기준 접지 평면 위 또는 주변에서 측정하도록 함. 또는 차폐룸에서 차폐룸 바닥 또는 벽면을 기준 접지 평면으로 사용하도록 함
- FAR 측정: 완무반사실에서 30 MHz ~ 1 GHz 대역 측정 시, 3 m 측정거리는 'small EUT'에 대해서만 적용할 수 있음을 명기

⑤ 부속서

- Annex B: 스펙트럼 분석기 사용의 주의사항을 설명한 Annex B (Informative)를 삭제함, 해당 내용은 이미 CISPR 16-1-1 및 CISPR 16-2-1에 설명되어 있음
- Annex C: 무선 송신기의 신호 발생에서 전자파 복사 방해의 측정과 관련된 규정을 명기한 Annex C의 공식 적용에서 복사방출 측정 결과가 대수(logarithmic) 단위로 표현되더라도, 공식 적용 시 선형(linearly) 값으로 전환되어야 함을 명시
- Annex D: 30 MHz ~ 300 MHz 대역의 산업 무선 주파수 기기로부터의 방해 전파에 관해 설명한

Annex D(Informative)를 삭제함, 해당 내용은 오래전의 기술내용이며, 산업/과학/의료기기에 대해 특별한 사항이 아니므로 삭제함

- Annex E: 특정 지역의 무선 서비스 보호를 위한 CISPR 권고사항(Informative)에 대해, 안전 관련 무선 서비스에 할당된 주파수 대역을 설명한 Annex F를 이동시켜 Table E.2를 추가함(Project 25, TETRA1, IDRA, DIMRS, TETRAPOL, EDACS, FHMA, CDMA-PAMR, GoTa, Air-Ground-Air operation(AGA)) 특정 미약 무선 서비스 보호를 위한 권고사항에 대해, Annex G의 내용을 Table E.3로 이동하며, Amateur Radio Services 주파수 대역을 2 300 ~ 2 450 MHz로 수정하고, Radio Astronomy 6 650 ~ 6 675.2 MHz를 신규 추가함 [Annex F 및 Annex G는 삭제]
- Annex H: CISPR 표준 요구사항에 대한 양산(series produced) 기기의 통계적 평가를 설명한 부속서 H 삭제 [IEC 61000-6-3 및 6-4의 삭제와 동일하게, 제품군 규격인 CISPR 11에서 해당 내용이 명기된 것이 부적절하다는 의견으로, 각국 투표를 진행하여 삭제하기로 하였으며, 2021.11.8.~11.19 기간의 CISPR 총회에서 관련 내용을 지침서 형태로 IEC EMC 웹페이지에 게시하기로 함]
- Annex I: 반도체 전력 변환기의 직류 전원 포트에 대한 방해 전압 평가에 사용되는 의사 회로망(AN)에 관해 설명한 부속서 I 삭제 [관련 정보는 CISPR 16-1-2 및 CISPR 16-2-3에 있으며, CISPR 11 8.2항 참조]

다. 추진 이력 및 계획

- 2016년 6월 CISPR 11 개정을 위한 검토보고서(CIS/B/661/RR) 회람
- 2019년 10월 상해 총회 시 CISPR 11의 유지 보수를 결정하였으며, 이후 다수의 논의 주제 문제로 ED7으로 진행하기로 하였으며, 개별 fragments(f1~f7)로 분할하여 개정 작업 진행
- 2021년 10월: CIS/B/777/CDV 문서 발행
- 2021년 1월 20일 ~ 22일, WG1 화상 회의
- 2021년 5월 10일 ~ 12일, WG1 화상 회의
- 2021년 6월 17일 ~ 18일, WG1 화상 회의
- 2022년 2월, WG1 화상 회의 진행
- 2022년 9월 회람된 FDIS에 대한 각국 NC의 투표 결과, 부결 처리됨(CIS/B/809/RVD)
- 2022년 11월 2일 CISPR B 총회에서, WPT EV(FRAG1) 및 WPTAD(FRAG3)를 제외하여 CDV를 진행하는 것을 결정하였고, WPT EV에 대한 향후 진행 방향은 Q 문서를 회람하여 각국의 의견 수렴
- FRAG2/4/5/6/7을 CDV로 통합하여 회람 및 투표 완료, 통합 FDIS(CIS/B/831/FDIS) 진행 중이며 '24년 3월 IS 국제표준으로 발행 예정

2. CISPR 11: 로봇 측정 요구사항

가. 기본정보

- 로봇 측정 요구사항에 관한 내용으로, 'Requirements for measurements of robots' 제목으로 FRAG4로 분할하여 진행됨

나. 주요 내용

① 개요

- Fragment 4는 Requirements for measurements of robots 내용으로 로봇의 EMI 측정 시 요구사항에 관한 내용을 다룸

② 적용 범위

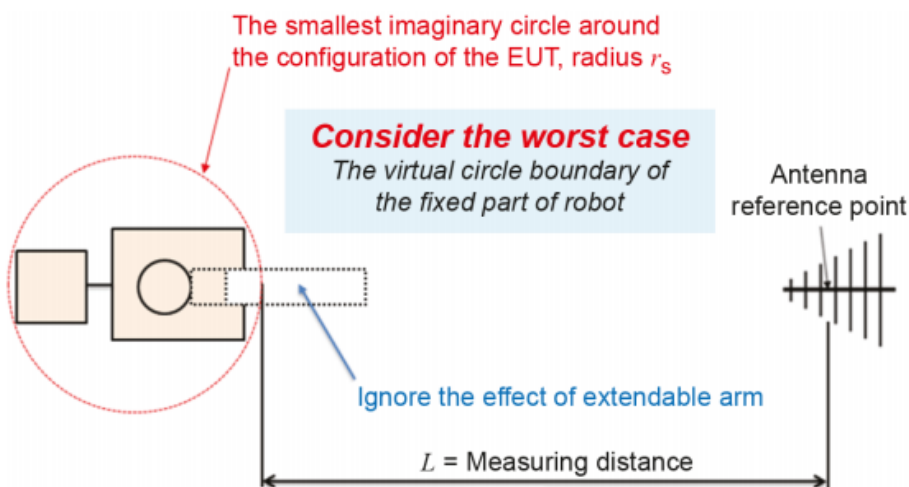
- 적용 범위에 로봇 관련 내용 추가.
산업/과학/의료용의 로봇이 CISPR 11의 범위에 포함됨을 분명히 하고, 그 예로, 용접 로봇, 스프레이 로봇, 조작 로봇, 공정 로봇, 조립 로봇, 의료 로봇, 교육 및 실험 로봇을 명기함. 반면, 비행 로봇, 가정용 도움 로봇, 장난감 로봇, 오락 로봇은 다른 CISPR 규격의 적용 범위임을 설명 로봇, 오락 로봇은 CISPR 11에서 제외함

③ 용어 정의

- 로봇 용어 추가함. 'robot: actuated mechanism programmable in two or more axes with a degree of autonomy, moving within its environment, to perform intended tasks, 의도한 임무를 수행하기 위해, 그 환경 내에서 움직이며, 자율 각도의 두 개 이상의 축으로 프로그램할 수 있는 작동 메커니즘'
- 산업 로봇 용어 추가함. 'industrial robot:

automatically controlled, reprogrammable, multipurpose manipulator, programmable in three or more axes, which can be either fixed in place or mobile for use in industrial automation applications, 산업 자동화 응용에 사용되기 위해, 자동제어, 재프로그램 가능, 다목적 조작기, 3축 이상으로 프로그램 가능, 고정 또는 이동용으로 사용할 수 있는 로봇.

- 의료 로봇 용어 추가함. 'medical robot: robot intended to be used as medical electrical equipment or medical electrical system, 의료용 전기 기기 및 시스템으로 사용되도록 한 로봇'
- 정격 부하 용어 추가함. 'rated load: maximum load that can be applied to the mechanical interface or mobile platform in normal operating conditions without degradation of any performance specification, 성능 사양의 저감 없이, 일반 동작 조건에서 기구적인 인터페이스 또는 이동



[그림 3-1] 확장 가능하고 움직이는 팔을 가진 로봇의 복사 장애 측정을 위한 EUT 경계면 결정

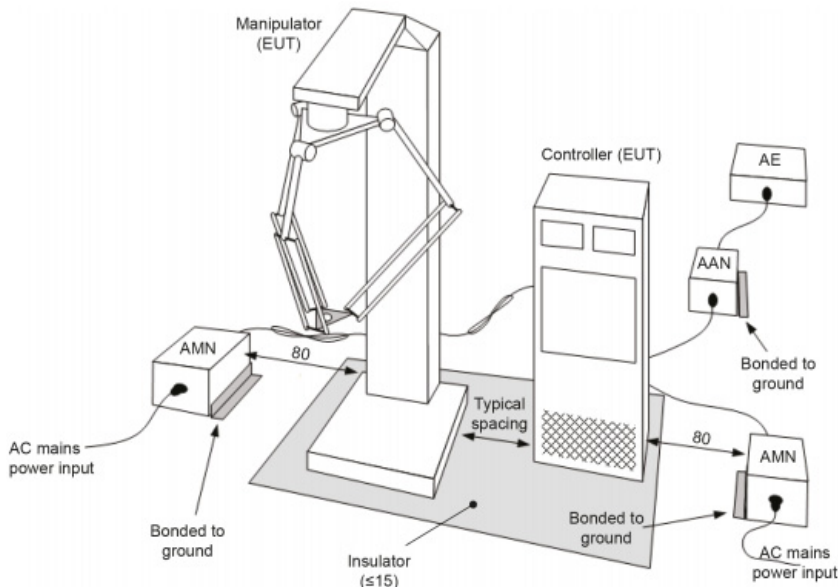
플랫폼에 적용될 수 있는 최대 부하

④ 측정 요구사항

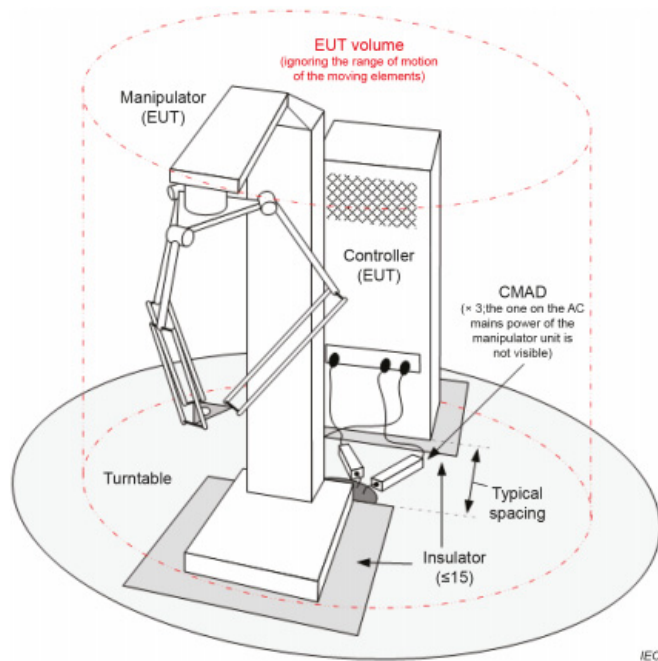
- 복사 방출 측정 시, EUT 경계는 로봇의 모든 고정부의 풋프린트 및 연결되는 EUT 케이블을 모두 둘러싼 가장 작은 원형이 되어야 하며, 정상 동작에서 움직이는 로봇의 모든 부분은 무시함. 그 예로 그림 3-1 설명. 하지만, 로봇 동작 동안 EUT 경계 바깥의 동작 팔/구성으로 인해 방출량이 한계치 만족을 못 한 경우, 조사를 통해 로봇의 동작 팔/구성의 특정 부위로부터 한계 거리에 측정 안테나를 재 위치하여 방출 측정 재시행하고 해당 재측정 결과 및 조사 내용을 시험성적서에 명기하도록 함
- EUT의 배치에서 로봇의 이동부는 시험 동안 정상 동작으로 자유롭게 움직일 수 있음
- 고정 로봇의 경우, 모든 경우에 설치 지침서를 준수하여야 하며, 안정된 로봇 동작을 확실한

수 있도록, 로봇은 견고하게 고정되고 절연을 유지하거나 전용 접지점에 접지 연결하는 등의 설치 지침서에 설명된 조건을 충족하여 전기조건을 충족해야 함

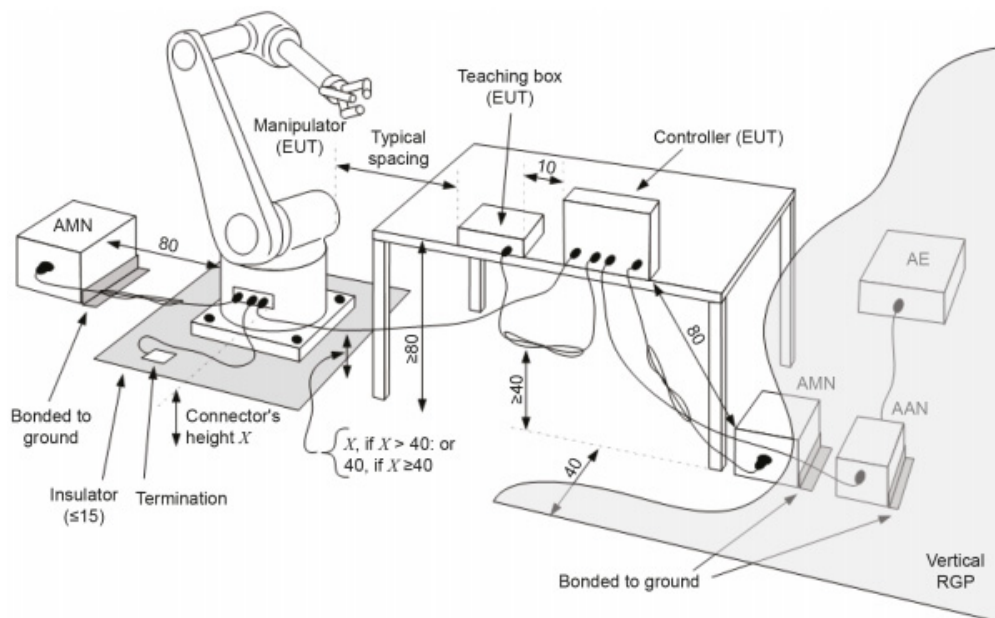
- 이동 로봇은 요구되는 높이에 따라 접지 평면으로부터 절연지지가 되어야 하며, 측정이 복사성 인지, VCP 기준을 가진 전도성인지, VCP가 없는 전도성인지 여부에 따라 또한 바닥 설치용인지 탁상 설치용 EUT 여부에 따라 15 cm, 40 cm, 80 cm 높이로 EUT를 지지함
- 셋업 방법으로 바닥 설치용 로봇에 대해, 그림 3-2 및 3-3에 설명되어 있으며, 바닥 설치용 및 탁상/벽면 설치용으로 구성된 로봇의 셋업 예로 그림 3-4 및 3-5에 설명하였고, 용량성 타입의 의로기기 및 모의 부하에 대한 배치를 그림 3-6에 설명하였음.



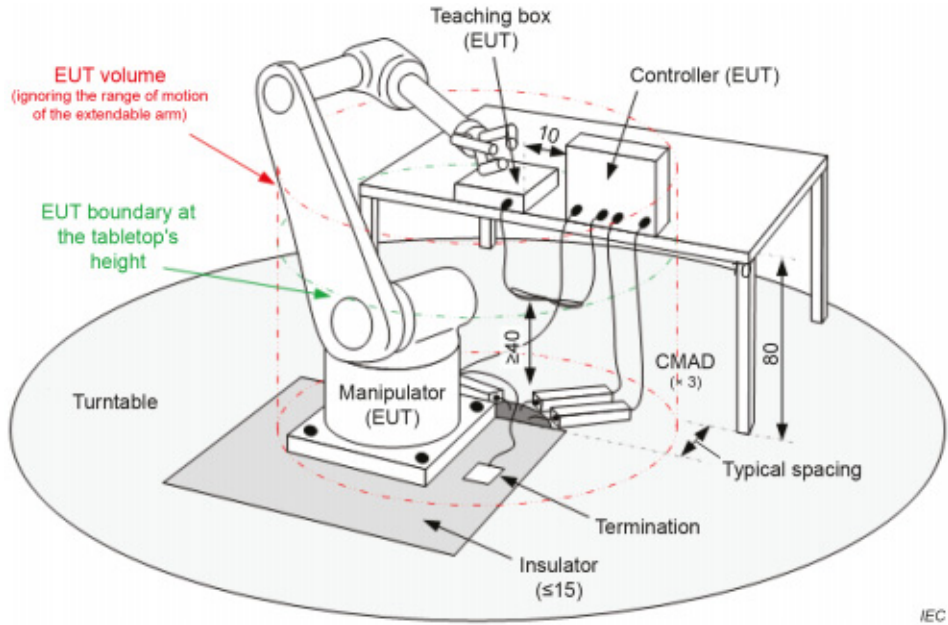
[그림 3-2] 바닥 설치용 로봇 시스템의 전도 방해 측정을 위한 일반적인 시험 셋업



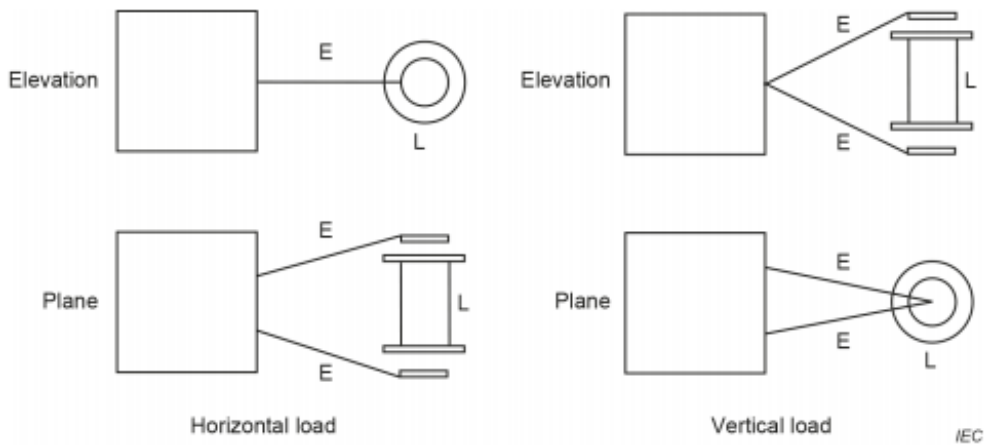
[그림 3-3] 바닥 설치용 로봇 시스템의 복사 방해 측정을 위한 일반적인 시험 셋업



[그림 3-4] 조합(바닥/탁상 설치) 로봇 시스템의 전도 방해 측정을 위한 일반적인 시험 셋업



[그림 3-5] 조합(바닥/탁상 설치) 로봇 시스템의 복사 방해 측정을 위한 일반적인 시험 셋업



[그림 3-6] 용량성 타입의 의료기기 및 모의 부하에 대한 배치

⑤ EUT(로봇)의 부하 조건

- 사용 설명서에 따라, 의도된 동작의 대표 정상 사용상태의 부하조건 및 동작 모드에서 시험이 이루어져야 함
- 로봇의 적합성 평가는 고정형 로봇은 표 3-3에 명기된 동작 모드로, 이동형 로봇은 표 3-4의 동작 모드로 시험해야 하며, 각 동작모드는 개별적으로 시험 되어야 함. 방출 한계치와 관련하여 최대 방출 레벨을 산출하는 동작모드 결정 시 엔지니어링 분석(로봇의 특성 및 설계의 측정/분석을 모두 포함)을 해야 하며, 최종 측정은 그때의 모드에서 시험 되어야 함
- 시험 대상 로봇의 특정 설계, 구조 및 기능에 기반하여, 다른 동작 모드가 상당한 양의 방출을 생성하는 경우, 그 다른 동작 모드를 표 3-3 및 3-4에 언급된 모드에 추가하여 시험 평가되어야 함

다. 추진 이력 및 계획

- 2016년 6월 CISPR 11 개정을 위한 검토 보고서(CIS/B/661/RR) 회람
- 2019년 10월 상해 총회 시 CISPR 11의 유지 보수를 결정하였으며, 이후 다수의 논의 주제 문제로 ED7으로 진행하기로 하였으며, 개별 fragments(f1~f7)로 분할하여 개정 작업 진행
- 2021년 10월: CIS/B/779/CDV 문서 발행
- 2021년 1월 20일 ~ 22일, WG1 화상 회의
- 2021년 5월 10일 ~ 12일, WG1 화상 회의
- 2021년 6월 17일 ~ 18일, WG1 화상 회의
- 2022년 2월, WG1 화상 회의 진행
- 2022년 9월 회람된 FDIS에 대한 각국 NC의 투표 결과, 부결 처리됨(CIS/B/809/RVD)
- 2022년 11월 2일 CISPR B 총회에서, WPT EV(FRAG1) 및 WPTAAD(FRAG3)를 제외하여 CDV를 진행하는 것을 결정하였고 WPT EV에 대한 향후 진행 방향은 Q 문서를 회람하여

〈표 3-3〉 고정형 로봇의 동작 모드

Operation mode	Description
mode 1	The robot is powered on but in its idle mode of operation (static state).
mode 2	Normal operation mode at rated load, rated speed, defined maximum pose and trajectory (e.g. cube location which refers to 6.8 of ISO 9283:1998).
mode 3	Similar to mode 2, but with all corresponding parameters (e.g., load) set at approximately the middle of their specified range.

〈표 3-4〉 이동형 로봇의 동작 모드

Operation mode	Description
mode 1 ^a	Battery charging mode: the battery charging level is less than or equal to 20 % at the beginning of the test and remains less than 80 % for the entire duration of the test; the robot is in charging mode, with its main function(s) idle.
mode 2 ^a	Normal operation mode at rated load and at rated speed. If the robot cannot operate at the same time at its rated load and rated speed, these two modes shall be evaluated in turn.
mode 3 ^a	Similar to mode 2, but with all corresponding parameters (e.g., load) set at approximately the middle of their specified range.
^a If the robot can be placed in both its normal mode of operation and in battery charging mode at the same time, then both mode 1 and mode 2 (or mode 1 and mode 3) may be evaluated for compliance with the limits through a single test, with the EUT connected to AC mains power. The test report shall specify how the EUT was placed in both operating modes for the test.	

각국의 의견 수렴을 받을 예정임

- FRAG2/4/5/6/7을 CDV로 통합하여 회람 및 투표 완료, 통합 FDIS(CIS/B/831/FDIS) 진행 중이며 '24년 3월 IS 국제표준으로 발행 예정

3. CISPR 11:유선 네트워크 요구사항

가. 기본정보

- 유선 네트워크 포트에 대한 방출 요구사항으로 'Requirements for wired network ports' 제목으로 FRAG5로 분할하여 진행됨

나. 주요 내용

① 개요

- Fragment 5는 Requirements for wired network ports 내용으로 기존 CISPR 11 ED. 6.2 표준에서는 유선 통신 포트에 대한 별도의 전도 방출 기준을 적용하지 않았으나, CISPR 32의 내용을 반영하여 CISPR 11 ED7에 허용기준을 추가 예정임

② 용어 정의

- 유선 네트워크 포트 'wired network port: port for the connection of a communication device / system intended to be interconnected to widely dispersed systems by direct connection to a single-user or multi-user network, 단일 사용자 또는 다중 사용자 네트워크에 직접 연결되어 광범위하게 분산된 시스템 상호간에 연결되도록 의도된 통신 연결 포트' 용어 정의를 CISPR 32:2015의 내용으로 추가함
- 음성, 데이터, 신호 전달 네트워크를 통한 통신, CATV, PSTN, ISDN, xDSL, LAN을 포함한

네트워크, 차폐/비차폐 케이블을 포함할 수 있으며, 통신 사양 일부로 AC/DC 전원 신호를 전달할 수 있음

- 시험 대상 시스템의 구성품 상호 연결을 목적으로 한 포트(예: RS-232, RS-485, IEC 61158 적용범위의 필드 버스, IEEE 1284 병렬 프린터, USB, IEEE 1394 화재 선로, 최대 선로 길이 등 기능 사양 내에 사용되는 포트 등)는 유선 네트워크 포트로 고려되지 않음. 많은 제품 규격에서 'telecommunication 또는 network port'로 정의됨

③ 허용기준

- 150 kHz ~ 30 MHz 대역에 대한 유선 네트워크 포트의 전도 방출 허용기준을 제시함. CISPR 32와 동일. 표 3-5 참조
- 전류 및 전압 방해 허용기준은 비대칭 의사 회로망(Asymmetric Artificial Network, AAN) 사용에서 도출된 값이며, 시험 대상 유선 네트워크 포트의 150 Ω 공통모드 임피던스 값을 가짐
- 전압 및/또는 전류 허용기준 적용은 사용되는 측정 절차에 따라 다름. CISPR 32:2015/AMD1:2019 Table C.1 참조
- 그룹 2기기를 시험장에서 측정 시 동일 허용기준을 적용함

④ 측정 요구사항

- 상호접속케이블의 구성에 대해, 유선 네트워크 포트에 대한 전도 방출 측정 수행 시, EUT의 구성은 CISPR 32:2015/AMD1:2019를 따르도록 함

〈표 3-5〉 시험장에서 측정하는 그룹1 기기의 전도 방해 허용기준(유선 네트워크 포트)

Frequency range MHz	Class A				Class B			
	Voltage		Current		Voltage		Current	
	QP	AV	QP	AV	QP	AV	QP	AV
	dB(μV)	dB(μV)	dB(μA)	dB(μA)	dB(μV)	dB(μV)	dB(μA)	dB(μA)
0,15 to 0,5	97 to 87	84 to 74	53 to 43	40 to 30	84 to 74	74 to 64	40 to 30	30 to 20
0,5 to 30	87	74	43	30	74	64	30	20

In the frequency range from 0,15 MHz to 0,5 MHz, the limits in this table decrease linearly with the logarithm of frequency.

Excluding measurement uncertainty, all other elements within CISPR 32 shall be applied, including but not limited to the selection of measurement procedures, test configuration, cable characteristics and ancillary equipment (current probe, capacitive voltage probe and/or artificial network).

NOTE 1 The voltage and current disturbance limits are based on a common mode impedance of 150 Ω for the wired network port under test.

NOTE 2 The application of the voltage and/or current disturbance limits is dependent on the port type and on the measurement procedure used; see Table C.1 of CISPR 32:2015/AMD1:2019.

다. 추진 이력 및 계획

- 2016년 6월 CISPR 11 개정을 위한 검토보고서(CIS/B/661/RR) 회람
- 2019년 10월 상해 총회 시 CISPR 11의 유지 보수를 결정하였으며, 이후 다수의 논의 주제 문제로 ED7으로 진행하기로 하였으며, 개별 fragments(f1~f7)로 분할하여 개정 작업 진행
- 2021년 10월: CIS/B/780/CDV 문서 발행
- 2021년 1월 20일 ~ 22일, WG1 화상 회의
- 2021년 5월 10일 ~ 12일, WG1 화상 회의
- 2021년 6월 17일 ~ 18일, WG1 화상 회의
- 2022년 2월, WG1 화상 회의 진행
- 2022년 9월 회람된 FDIS에 대한 각국 NC의 투표 결과, 부결 처리됨(CIS/B/809/RVD)
- 2022년 11월 2일 CISPR B 총회에서, WPT EV(FRAG1) 및 WPTAAD(FRAG3)를 제외하여 CDV를 진행하는 것을 결정하였고, WPT EV에 대한 향후 진행 방향은 Q 문서를 회람하여 각국의 의견 수렴을 받을 예정임
- FRAG2/4/5/6/7을 CDV로 통합하여 회람 및

투표 완료, 통합 FDIS(CIS/B/831/FDIS) 진행 중이며 '24년 3월 IS 국제표준으로 발행 예정

4. CISPR 11: 1 GHz 초과 대역의 방출

가. 기본정보

- 1 GHz 초과 대역의 복사성 방출 요구사항에 관한 내용으로, 'Requirements for radiated emissions above 1 GHz' 제목으로 FRAG6로 분할하여 진행됨

나. 주요 내용

① 개요

- Fragment 6는 기존 CISPR 11 ED. 6.2 표준에서는 Group 2 기기에 대해서만 1 GHz ~ 18 GHz 대역의 복사 방해 허용기준을 명기하였으나, Group 1기기에 대해서도 CISPR 32와 동일한 허용기준을 추가 예정임

〈표 3-6〉 복사 측정이 요구되는 최고 주파수

Highest internal frequency F_x	Highest measured frequency
$F_x \leq 108 \text{ MHz}$	1 GHz
$108 \text{ MHz} < F_x \leq 500 \text{ MHz}$	2 GHz
$500 \text{ MHz} < F_x \leq 1 \text{ GHz}$	5 GHz
$F_x > 1 \text{ GHz}$	$5 \times F_x$ up to a maximum of 6 GHz
NOTE F_x is defined in 3.1.17.	

〈표 3-7〉 시험장에서 측정되는 그룹 1 기기에 대한 복사 방해 허용기준

Frequency range GHz	Limits for a measurement distance of 3 m dB($\mu\text{V}/\text{m}$)			
	Class A		Class B	
	Peak	Average	Peak	Average
1 to 3	76	56	70	50
3 to 6	80	60	74	54
At the transitional frequency, the more stringent limit shall apply.				

② 용어 정의

- 'highest internal frequency, highest fundamental frequency generated or used within the EUT, or the highest frequency at which it operates, EUT내에서 사용되거나 발생하는 최고 기본 주파수 또는 EUT를 동작시키는 최고 주파수' 용어 추가

③ 허용기준

- 1 GHz ~ 6 GHz 대역의 복사 방해 허용기준을 추가함. 주파수 영역은 1 GHz ~ 18 GHz로 설명하고, 현재 6 GHz ~ 18 GHz 대역은 별도의 허용기준을 요구하지 않음
- CISPR 32와 동일하게, 내부 최고 주파수에 따라 측정 최고 주파수를 결정. 내부 최고 주파수를 모르는 경우 6 GHz까지 측정 주파수

범위가 6 GHz를 초과하는 경우의 허용기준은 별도 명기 없음. 적용 주파수 범위 기준은 표 3-6 참조

- Group 1의 Class A 및 Class B 기기에 대한 1 GHz ~ 6 GHz 대역의 복사 방해 허용기준은 표 3-7 참조. 측정은 두 종류의 검파기를 모두 사용하여야 하며, 정의된 검파기 대신 첨두 검파기 결과값이 사용될 수 있음
- 1 GHz 초과 대역의 방출 측정 시, 고압 정전 사고와 같이 아크 및 스파크에 의해 생성된 방해에는 첨두치 검파기 허용기준을 적용하지 않음. 장치가 정전기를 생성하는 서브시스템을 제어하거나 포함하고 있을 때 또는 인덕티브 전류를 제어하는 기구적인 스위치를 제어하거나 포함하고 있을 때 해당 방해가 발생하게 되며, 이러한 아크 및 스파크로부터의 방해에는 평균치 검파기 허용기준을 적용하고

그 외 다른 방해는 침투 및 평균치 허용기준을 모두 적용함

- 3.1.17항에 정의된 EUT의 크기 기준을 고려하여 3 m 또는 10 m 거리에서 측정을 할 수 있으며, 기준거리와 다른 경우 다음 공식에 따라 허용기준을 반영함

④ 측정 요구사항

- 1 GHz 초과 대역 측정을 위해, CISPR 16-1-1에 정의된 스펙트럼 분석기 또는 측정 수신기가 사용되어야 함
- 1 GHz ~ 18 GHz 대역에 대해, CISPR 16-1-4에 명기된 안테나가 사용되어야 함.
- 수신안테나에 대해, 명시된 검파기로 적용되는 허용기준 아래로 최소 6 dB 이상 EUT의 방출을 감지할 수 있을 정도로 충분히 민감한 측정 시스템을 사용하여 10 m 측정을 적용할 수도 있음(1 GHz 초과대역의 측정은 기준거리가 3 m임)
- SAC 및 OATS는 추가적인 전파흡수체가 요구될 수 있음

다. 추진 이력 및 계획

- 2016년 6월 CISPR 11 개정을 위한 검토보고서(CIS/B/661/RR) 회람
- 2019년 10월 상해 총회 시 CISPR 11의 유지 보수를 결정하였으며, 이후 다수의 논의 주제 문제로 ED7으로 진행하기로 하였으며, 개별 fragments(f1~f7)로 분할하여 개정 작업 진행
- 2021년 10월: CIS/B/781/CDV 문서 발행
- 2021년 1월 20일 ~ 22일, WG1 화상 회의
- 2021년 5월 10일 ~ 12일, WG1 화상 회의
- 2021년 6월 17일 ~ 18일, WG1 화상 회의
- 2022년 2월, WG1 화상 회의 진행

- 2022년 9월 회람된 FDIS에 대한 각국 NC의 투표 결과, 부결 처리됨(CIS/B/809/RVD)
- 2022년 11월 2일 CISPR B 총회에서, WPT EV(FRAG1) 및 WPTAAD(FRAG3)를 제외하여 CDV를 진행하는 것을 결정하였고, WPT EV에 대한 향후 진행 방향은 Q 문서를 회람하여 각국의 의견 수렴을 받을 예정임
- FRAG2/4/5/6/7을 CDV로 통합하여 회람 및 투표 완료, 통합 FDIS(CIS/B/831/FDIS) 진행 중이며 '24년 3월 IS 국제표준으로 발행 예정

5. CISPR 11: 무선 주파수 구동 제품 요구사항

가. 기본정보

- 무선 주파수 구동 제품 요구사항에 관한 내용으로, 'Requirements for radio enabled products' 제목으로 FRAG7으로 분할하여 진행됨

나. 주요 내용

① 개요

- Fragment 7은 Requirements for radio enabled products 내용으로 무선 통신 기능을 포함한 제품의 세부 요구사항을 명기함 (제목/용어 변경됨: Requirements for equipment with radio functionality)

② 용어 정의

- 'equipment with radio functionality': non-radio equipment (host equipment) including one or more radio devices or plug-in radio modules that can use host control function(s) and/or power supply',

〈표 3-8〉 시험장에서 측정되는 그룹 1 및 그룹 2 기기에 대한 전압/전류 방해 허용기준(안테나 포트)

Frequency range MHz	Class A		Class B	
	Limits dB(μV)	Limits dB(μA)	Limits dB(μV)	Limits dB(μA)
	Detector	Detector	Detector	Detector
0,15 to 0,5	97 to 87 ^a Quasi-peak	53 to 43 ^a Quasi-peak	84 to 74 ^a Quasi-peak	40 to 30 ^a Quasi-peak
	84 to 74 ^a Average	40 to 30 ^a Average	74 to 64 ^a Average	30 to 20 ^a Average
0,5 to 30	87 Quasi-peak	43 Quasi-peak	74 Quasi-peak	30 Quasi-peak
	74 Average	30 Average	64 Average	20 Average

^a decreasing linearly with logarithm of frequency

Limitations and restrictions:

The application of the voltage and/or current limits is dependent on the measurement procedure used. Refer to CISPR 32:2015/AMD1:2019, Table C.1 for applicability.

Excluding measurement uncertainty, all other elements within CISPR 32 shall be followed, including but not limited to selection of test method, test configuration, cable characteristics.

NOTE The voltage and current disturbance limits in this table consider the fact that the antenna port under test is presented with a common mode impedance of 150 Ω. Thus, the two limits are interrelated by: $V - I = 20 \log_{10}(150 \Omega) = 44 \text{ dB}\Omega$, where V and I are in logarithmic units (i.e. dBμV and dBμA, respectively).

무선 기능이 있는 기기: 호스트의 제어 기능 및/또는 전원 공급을 사용할 수 있는 하나 이상의 무선 장치 또는 플러그인 무선 모듈을 포함하는 비무선기기 (호스트)

(비고: 내장된 무선기기의 사용은 원격제어용 (외장기기가 호스트가 될 수 있으며 또는 그 반대로도 가능) 또는 외장 기기와 데이터 교환용으로 사용될 수 있음)

- ‘radio device: assembly consisting of one or more radio transmitters and/or receivers, capable to function on a stand-alone basis with or without additional accessories, 무선 장치: 추가적인 액세서리와 함께 또는 없이 독립형으로 기능을 수행할 수 있는 한 개 이상의 송/수신기로 구성된 조립품

◦ ‘radio module: assembly consisting of one or more radio transmitters and/or receivers, intended to be incorporated in a host equipment’, 무선 모듈: 호스트 기기와 결합되도록 의도된 한 개 이상의 송/수신기로 구성된 조립품

◦ ‘radio transmitter’: device producing radio-frequency energy intended to be radiated by an antenna for the purpose of radiocommunication, 무선 송신기: 무선통신 목적으로 안테나에 의해 무선 주파수 에너지가 생성되어 방사되도록 의도된 장치

③ 허용기준

- 무선 기능이 있는 기기는 Annex F의 추가 요구사항을 적용함 (표 3-8)

④ 부속서 F (무선 기능이 있는 기기에 대한 추가적인 요구사항)

- 방출 시험 시 EUT의 구성에 대해 구체적으로 명기. 비무선 기능의 경우, EUT의 구성은 7.5항에 명기된 요구사항을 따라야 함. 무선 기능은 EUT의 일반 동작조건으로 구성되어야 함. 구성 내용은 선정 이유를 포함하여 시험성적서에 함께 기록되어야 함
(비고: 무선 기능의 송신 모드는 사용된 무선 기술에 적용되는 무선 법규를 준수해야 하며, 측정 수신기의 포화를 방지하기 위해, 측정 체인의 무선 송신 주파수 억제 필터를 포함하여 적절한 대책을 마련해야 함)
- 복사 방출 시험 시, 무선 기능이 있는 EUT는 6.2.2항, 6.3.2항 또는 6.4.2항에 따라 대기 모드 또는 수신 모드에서 평가되어야 함. 대체 방법으로, EUT는 송신 모드의 무선 기능으로 평가될 수 있음, 이때 6.2.2항, 6.3.2항 또는 6.4.2항의 방출 한계치를 충족하지 못하는 경우, EUT의 무선 주파수에서 발생함을 설명하고, 해당 내용은 무시함. 1 GHz 초과 대역의 복사 방출 허용기준 적용 시, EUT의 내부 최고 주파수 결정에 무선 기기의 주파수 (무선 장치, 무선 모듈, 무선 부품/회로)를 고려해야 함
- 전도 방출 시험 시, EUT는 6.2.1항, 6.3.1항, 6.4.1항 또는 표 3-8에 따라 무선 기능을 대기 모드 또는 수신 모드로 평가되어야 함. 대체 방법으로 EUT는 송신 모드의 무선 기능으로 평가될 수 있으며, 이때 방출 한계치를 충족하지 못하는 경우, EUT의 무선 주파수에서 발생함을 설명하고, 해당 내용은 무시함.
EUT가 3 m 초과 길이의 동축 케이블을 통하여 외부 안테나에 연결되는 포트가 있는 경우, 표

3-8의 Class A 또는 Class B의 요구사항을 적용함. CISPR 32에 명기된 측정절차(Table A.11, A.12, C.4.1.6) 중 하나를 적용함

다. 추진 이력 및 계획

- 2016년 6월 CISPR 11 개정을 위한 검토보고서(CIS/B/661/RR) 회람
- 2019년 10월 상해 총회 시 CISPR 11의 유지 보수를 결정하였으며, 이후 다수의 논의 주제 문제로 ED7으로 진행하기로 하였으며, 개별 fragments(f1~f7)로 분할하여 개정 작업 진행
- 2021년 10월: CIS/B/782/CDV 문서 발행
- 2021년 1월 20일 ~ 22일, WG1 화상 회의
- 2021년 5월 10일 ~ 12일, WG1 화상 회의
- 2021년 6월 17일 ~ 18일, WG1 화상 회의
- 2022년 2월, WG1 화상 회의 진행
- 2022년 9월 회람된 FDIS에 대한 각국 NC의 투표 결과, 부결 처리됨(CIS/B/809/RVD)
- 2022년 11월 2일 CISPR B 총회에서, WPT EV(FRAG1) 및 WPTAAD(FRAG3)를 제외하여 CDV를 진행하는 것을 결정하였고, WPT EV에 대한 향후 진행 방향은 Q 문서를 회람하여 각국의 의견 수렴을 받을 예정임
- FRAG2/4/5/6/7을 CDV로 통합하여 회람 및 투표 완료, 통합 FDIS(CIS/B/831/FDIS) 진행 중이며 '24년 3월 IS 국제표준으로 발행 예정

6. 기타 사항

가. 통계적 평가 Annex H 삭제

- 대량 생산 기기의 평가 시 통계적 평가방법을 적용할 수 있도록 한 Annex H가 삭제됨. 다만, 내용의 중요성을 고려하여 CISPR/B의 IEC 게시판에 관련 지침 문서를 게시함. 향후,

CISPR TR 16-4-3 개정본에 내용 삽입하는 것을 검토

나. Microwave oven 제외

- 산업/과학/의료용 Microwave oven을 제외한 기기는 CISPR 14-1(가전기기의 EMI 규제) 표준으로 이동

7에는 반영하지 못하고 CISPR PAS 38 문서로 발행 예정임. 2~3년 후 CISPR 11 ED7 AMD1으로 반영 예정임.

나. Wired network port

- 전원 용량이 큰(20 kVA 초과, 75 kVA) EUT의 Wired network port에서 방출되는 Conducted emission에 대한 허용기준을 완화하는 방안을 검토할 예정임

▶ 제3절 향후 계획

1. CISPR 11 ED7 계획

가. CISPR 11 ED7 발행

- CISPR 11 ED7 표준은 현재 FDIS(CIS/B/831/FDIS) 문서가 회람 중이며, 2023.12.22까지 국가별 의견을 수렴하여 RVD 단계 이후 2024년 3월 이내 IS(International Standard) 규격이 발행될 예정임. CDV 단계에서 기술적인 변경사항이 없었으므로 바로 IS 발행할 수 있었으나, 추가적인 편집상의 오류 수정 및 추가 보완을 위해 FDIS 문서 단계를 진행하였으며, 특별한 이견이 없는 관계로 RVD 통과가 유력함.
- WPT 및 WPTAAD에 대한 추가 작업, IT 전력계통의 DC 측정 이슈 등을 반영하여 추가 CISPR 11 ED7 ADM 1 작업을 진행 예정임.

2. CISPR 11 ED7 AMD1 개정 계획

가. Radio-Beam WPT 반영

- 무선 빔을 이용한 무선전력전송장치의 규격 적용에서 관련 내용의 합의에 이르지 못해, ED

다. IT 전력계통의 DC 방출 측정

- IT 전력계통에서 Conducted emission 측정을 위해 Artificial Network을 중간에 삽입할 경우, DC 차단기의 동작으로 전원이 차단되는 문제가 발생함. 대체 방법으로 복사 방출을 포함하여 차기 개정본에서 논의 예정임

제4장

ISO 11451-2(차량 방사 내성 시험방법) 표준화 동향

나원수 교수
(성균관대학교)
김원진 책임
(원제뉴인)

제1절 개요
제2절 2023년 자동차 전자파 적합성 표준 재개정 현황
제3절 ISO 11451-2 개정 현황
제4절 향후 계획

▶ 제1절 개요

IEC CISPR 산하 D 소위원회는 길이 15 m 미만의 내연기관, 전기 모터 또는 이들 조합으로 구동되는 자체 추진 장비 및 내연기관 구동장치, 전기자동차의 전기·전자 장비 그리고 모든 자동차용 전기·전자 부품에서 발생하는 전자파 방출의 측정방법과 허용기준을 다루고 있는 소위원회이다. 적용 범위는 도로의 차량, 보트 및 내연기관이 장착된 모든 장비/기계를 포함하되, 철도/트램/전기 트롤리 버스 등의 트랙션 시스템, 길이 15 m를 초과하는 보트 및 로봇 청소기는 제외한다. 이와 더불어, 자동차 및 전장품의 전자파 내성과 관련된 국제표준은 ISO TC22 SC32 WG3에서 담당하고 있으며, 적용의 범위는 CISPR D 소위원회와 동일하다.

D 소위원회 산하에는, 도로나 야외의 건물에서 사용되는 수신기를 보호하기 위한 기준 및 시험방법을 다루는 작업반인 WG1과, 자동차에 직접 장착되거나 및 인접 차량의 수신기를 보호하기 위한 기준 및 시험방법을 다루는 작업반인 WG2가 있다. WG1은 30 MHz 이상의 전기장 방출성능에 대한 국제표준 제개정을 담당하고 있으며 산하에는 30 MHz 이하의

자기장 방출성능 시험방법을 검토하는 TF LF를 두고 있다. WG2는 기존 12V/24V 부품 및 시스템과 더불어 48V 마일드 하이브리드 부품 및 시스템, 전기차 및 하이브리드 자동차의 고전압 구성부품과 전기차에 탑재되는 충전 장치의 검증 방법에 대한 표준을 담당하고 있다. 또한, CISPR A 소위원회와 함께 전장품 및 차량용 챔버의 검증방법에 관한 논의를 하는 공동 작업반(JWG)을 운영하고 있다.

ISO TC22 SC32 WG3에서는 차량 레벨의 내성(ISO 11451 시리즈), 부품 레벨의 내성(ISO 11452 시리즈), 부품 레벨의 과도성능(ISO 7637 시리즈) 및 차량/부품 레벨의 정전기 내성(ISO 10605) 등의 국제표준 20여 종을 담당하고 있다.

IEC CISPR D, ISO TC22 SC32 WG3 국제표준은 EMC 전문위원회 D 소위원회(간사: 한국정보통신 기술협회)가 담당하고 있으며, D 소위원회는 성균관대학교 나원수 의장과 국립전파연구원, 로테슈바르츠 코리아, 르노삼성자동차, HL만도, 부산테크노파크, 에스엘, LG전자, 원제뉴인, 자동차안전연구원, 한국자동차연구원, 한국전파진흥협회, 한국지엠, 현대모비스, 현대자동차 등(가, 나, 다 순) 자동차 관련 기관에서 선정된 전문위원으로 구성되어 활동하고 있다.

Committee	Standards	Scope	Status
IEC CISPR/D WG1	CISPR 12	차량 전자파 장해 측정 (30 MHz 이상)	7판 개정 중 (Q-document)
	CISPR 36	차량 전자파 장해 측정 (30 MHz 이하)	AMD 1 발행 ('23.05)
IEC CISPR/D WG2	CISPR 25	차량 수신기 장해 및 부품 전도/방사	6판 개정 예정
ISO TC22 SC32 WG3	ISO11451-1	공통내용	5판 개정 중 (2 nd DIS voting)
	ISO11451-2	외부 안테나, 차량 전자파 내성	5판 개정 중 (2 nd CD voting)
	ISO11451-3	송수신기, 차량 전자파 내성	4판 개정 중 (DIS)
	ISO11451-4	차량 하네스 전자파 내성	4판 발행 ('22.05)
	ISO11451-5	잔향실, 차량 전자파 내성	1판 발행 ('23.05)
	ISO11452-1	공통 내용	5판 개정 중 (2 nd DIS voting)
	ISO11452-2	외부 안테나, 부품 전자파 내성	- (3판)
	ISO11452-3	TEM Cell, 부품 전자파 내성	3판 (4판 개정 취소)
	ISO11452-4	부품 하네스 전자파 내성	- (5판)
	ISO11452-5	Stripline, 부품 전자파 내성	- (2판)
	ISO11452-7	RF 직접 주입, 부품 전자파 내성	2판 Amd. 유지
	ISO11452-8	자기장 부품 전자파 내성	3판 개정 중 (2 nd DIS → CD)
	ISO11452-9	휴대용 송수신기, 부품 전자파 내성	2판 발행 ('21.10)
	ISO11452-10	가청주파수 부품 전도 내성	- (1판)
	ISO11452-11	잔향실 부품 전자파 내성	2판 개정 중 (CD)
	ISO7637-1	공통내용	4판 발행 예정 ('23.12)
	ISO7637-2	부품 전원선 과도성능	3판 (4판 개정 취소)
	ISO7637-3	부품 신호선 과도성능	3판 (4판 개정 취소)
	ISO7637-4	부품 고전압선 과도성능	- (1판)
	ISO7637-5	정의 및 펄스 검증	- (1판)
	ISO10605	차량/부품 정전기 내성	3판 발행('23.06)

[그림 4-1] 자동차 전자파 적합성 표준 제·개정 현황

제2절 2023년 자동차 전자파 적합성 표준 제개정 현황

CISPR D 및 ISO TC22 SC32 WG3 회의는 8개월 주기로 개최되는데, 올해는 6월 5일부터 9일까지 5일간 ISO TC22 SC32 WG3 회의, 6월 12일부터 15일까지 4일간 CISPR D 회의를 스페인 말라가에서 개최하였다. 한국을 비롯하여 독일, 미국, 프랑스, 영국, 일본, 중국 등 12개국 50여 명 전문가들이 참석하였으며, 한국 대표단은 D 소위원회 전문위원 13명이 참석하였다. 자동차 전자파적합성 표준 제·개정 현황은 그림 4-1과 같다.

제3절 ISO 11451-2 개정 현황

ISO 11451-2 Road vehicles – Vehicle test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy – Part 2: Off-vehicle radiation sources는 차량에 대한 방사 내성 시험방법에 대한 표준으로 2021.06 5판 개정 작업이 승인되어 현재 2nd CD의 Voting이 완료되었다. (그림 4-2)

주요 개정 내용은 다음과 같다.

1. 차량 여러 방향 시험 시 캘리브레이션 방법
2. 전계 균일도 요구사항
3. 차량 길이 및 안테나 빔 폭을 고려한 시험
4. 이동통신(4G/5G)을 고려한 신규 변조
5. 다중신호 내성 시험

6. 광대역 내성 신호

Under development ISO/CD 11451-2.2 Stage: 30.60 ^				
00	10	20	30 Committee ^	40
			30.00 Committee draft (CD) registered	2023-01-25
			30.20 CD study initiated	2023-01-26
			30.60 Close of comment period	2023-03-24
			30.92 CD referred back to Working Group	2023-08-03
			30.00 Committee draft (CD) registered	2023-08-03
			30.20 CD study initiated	2023-08-05
			30.60 Close of comment period	2023-10-01
			30.92 CD referred back to Working Group	
			30.99 CD approved for registration as DIS	

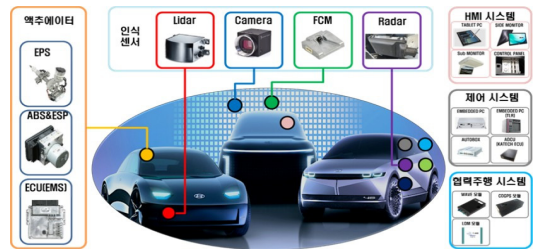
[그림 4-2] ISO 11451-2 Ed.5 개정 현황

1. 차량 여러 방향 시험 시 캘리브레이션 방법

- 1) 하이브리드 자동차, 전기차를 비롯하여 운전자의 편의를 위한 자율주행 기능의 탑재가 보편화됨에 따라 전자파 안전이 더욱 중요해지면서 자동차 전자파 국제표준과 함께 유럽 전자파 법규도 동시에 개정되고 있다.
- 2) ISO 11451-2 : 2015 4판에서 EV 구동 시스템이 탑재된 차량을 시험할 수 있도록 개정되었으나, 종래 내연기관 차량과 마찬가지로 주행, 제동, 등화장치 등 운전에서 필수적인 기능의 부품/시스템이 탑재되어 있는 차량의 정면에서만 시험하도록 되어 있었다. (그림 4-3)
- 3) 전기차의 구동모터 및 제어기, EV 배터리 제어 시스템 등과 자율주행자동차의 센서, 액추에이터 및 제어기 등은 차량의 곳곳에 탑재되기 때문에



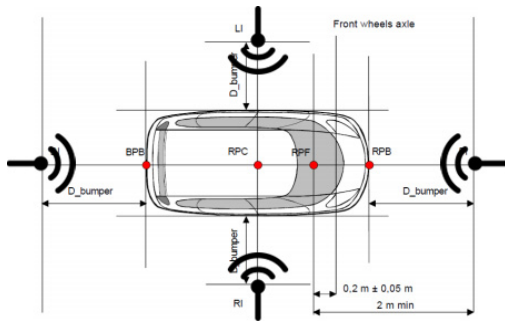
[그림 4-3] ISO 11451-2: 2015 시험방법



[그림 4-4] 자율주행자동차 부품의 탑재 위치

차량 공간 전체에 균일한 전자파를 형성하지 못한 상태에서 차량 정면에서만 전자파를 조사해서는 전자파적합성의 검증과 전자파 안전을 확보하는데 한계가 있다. (그림 4-4)

- 4) ISO/ 11451-2 5판 개정에서는 ALSE 방사 내성 시험방법의 한계를 개선하기 위해 차량의 4면 시험방법을 도입하고, 그와 관련된 캘리브레이션, 전계 균일도 요구사항을 마련할 예정이다.
- 5) 기존 차량 정면의 시험을 위한 기준점은 대부분의 내연기관 제어기가 위치한 RPF(Reference Point for Front bumper)로 방사 내성 안테나와 최소 2 m 이상 떨어져 있다. 프론트 범퍼와 방사 내성 안테나의 거리(D_bumper)를 차량4면 시험 시 차량 끝단으로부터 떨어져야 하는 방사 내성 안테나의 위치로 정의한다. (그림 4-5)



[그림 4-5] 차량 4면의 시험 위치

2. 전계 균일도 요구사항

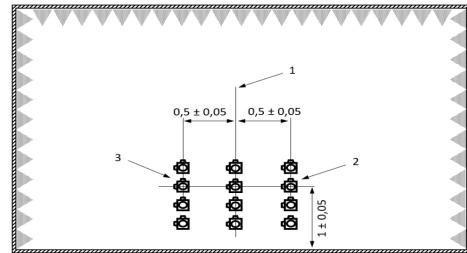
- 1) 차량 곳곳에 탑재되어 있는 전기차 및 자율주행자동차 부품/시스템을 균일한 전계 환경에서 검증하기 위해 캘리브레이션 기준점 좌/우 및 전방의 균일도 요구사항이 추가된다.
- 2) 기준점에서의 캘리브레이션은 자율주행에 사용되는 V2X 주파수 대역까지 보다 균일한 전계를 형성하기 위해 표 4-1과 같이 6 GHz까지 4-field probe calibration 방법을 사용하도록 변경될 예정이다.

〈표 4-1〉 주파수별 캘리브레이션 방법

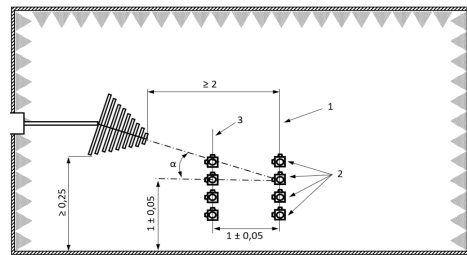
구분	기존	변경
0.02 ~ 1 GHz	4-field probe	4-field probe
1 ~ 6 GHz	Single probe	4-field probe
6 ~ 18 GHz	Single probe	Single probe

- 3) 기준점 좌/우(Lateral Field Uniformity)에 대해서 200 MHz부터 6 GHz까지는 4-field probe verification, 6 GHz 이상은 Single field probe verification을 이용하여 전체 시험 주파수의 80 % 이상이 기준점 전계 대비 6 dB 편차 이내를 만족해야 한다.
- 4) 기준점 정면(Frontal Field Uniformity)에

대해서 200 MHz부터 6 GHz까지 4-field probe verification을 이용하여 전체 시험 주파수의 80 % 이상이 기준점 전계 대비 6 dB 편차 이내를 만족해야 하며, 6 GHz 이상의 대역은 전계 균일도를 요구하지 않는다. (그림 4-6)



a) 기준점 좌우 전계 균일도 검증 셋업

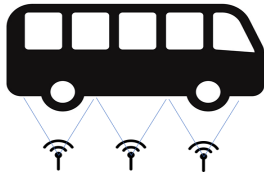


b) 기준점 정면 전계 균일도 검증 셋업

[그림 4-6] 전계 균일도 검증 셋업

3. 차량 길이 및 안테나 빔 폭을 고려한 시험

- 1) ISO 11451 시리즈와 유럽 자동차 전자파 법규 ECE Regulation 10은 대형 차량에 대해서 길이 12 m, 폭 2.6 m, 높이 4.0 m를 하나라도 초과하는 차량을 Large vehicle로 정의하였다.
- 2) 1 GHz 이상의 방사 내성 안테나의 3 dB 빔 폭보다 긴 Large vehicle에 대해서는 안테나 위치를 여러 번 이동하여 차량의 전체 길이에 대해 전자파를 조사하도록 권고한다. (그림 4-7)



[그림 4-7] 안테나 빔 폭을 고려한 방사 내성

4. 이동통신(4G/5G)을 고려한 신규 변조

1) 자동차 전자파 내성 시험에서는 10 kHz ~ 18 GHz까지 무변조(CW), 10 kHz ~ 800 MHz까지 진폭 변조(AM), 800 MHz ~ 18

GHz까지 펄스 변조(PM1 또는 PM2)의 신호를 사용해 왔지만, 실제 방송/통신과 일치하지 않는 것을 검토(N3150, 독일)하고, 신규 변조방식의 추가 및 적용 주파수의 변경을 검토하였으며, ISO에서 결정된 사항은 유럽 자동차 전자파 법규 ECE Regulation 10 revision 07에도 동일하게 적용될 예정이다. (표 4-2)

2) 기존에 사용하는 PM1(주기 217 Hz, 4.6 ms, 턴-온 시간 577 us)은 2G 이동통신 방식에만 유효하며, 3G/4G/5G 및 WLAN, Bluetooth의

〈표 4-2〉 자동차 전자파 내성 변조 및 적용 범위

변조		주파수	
		기존	변경
CW		10 kHz ~ 18 GHz	15 Hz ~ 18 GHz
AM		10 kHz ~ 800 MHz	10 kHz ~ 380 MHz
PM1		800 MHz ~ 18 GHz (PM2 적용 대역 제외)	삭제
PM2		1.2 ~ 1.4 GHz 2.7 ~ 3.1 GHz	2.7 ~ 3.1 GHz
PM3		N/A	380 MHz ~ 18 GHz (PM2 적용 대역 제외)

변조와는 차이가 크기 때문에 새로운 펄스 변조 PM3(주기 1 kHz, 1 ms, 턴-온 시간 500 us)를 적용하는 것으로 결정하였다.

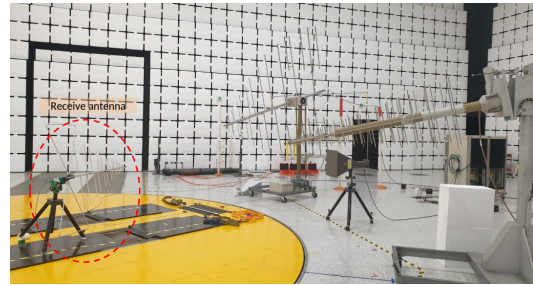
- 3) 레이더 펄스 변조 PM2(주기 300 Hz, 3.333 ms, 턴-온 시간 3 us) 변조방식은 레이더 서비스에 더 이상 사용되지 않는 주파수에 대해 내성 시험을 적용하지 않는 것으로 결정하였다.
- 4) 방송 및 무선통행에 사용되는 진폭 변조 AM 역시 사용하는 서비스가 줄어들어 따라 내성 시험에 적용하는 주파수(137 MHz 또는 380 MHz)를 축소할 예정이다.

5. 다중신호 내성 시험

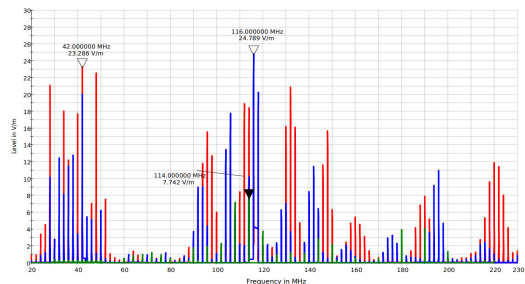
- 1) 자동차 전자파적합성 표준은 차량 4면에 대한 시험방법, 안테나 빔 폭을 고려하여 Long vehicle에 대해 여러 번 전자파를 조사하는 방법, 자율주행에 사용되는 V2X 대역을 고려하여 전자파적합성(유럽 자동차 전자파 법규 포함) 주파수를 6 GHz까지 확장하는 등 전기차 및 자율주행자동차의 전자파 안전을 고려하도록 강화됨에 따라 시험시간이 급격히 증가할 것으로 예상된다.
- 2) ISO 11451-2 5판에서는 시험시간을 줄이기 위해 한 번의 드웰 타임 동안 여러 개의 협대역 신호를 증폭하여 방사 내성 시험을 할 수 있도록 IEC 61000-4-3 : 2020을 참고하여 신규 부속서 (Annex C Testing with multiple signals)의 제정을 검토하고 있다.
- 3) 다만, 대부분 3 V/m의 낮은 전계강도에서 방사 내성 시험하는 IEC 61000-4-3과 달리 ISO 11451-2를 사용하는 자동차 제조사들은 100 V/m 또는 200 V/m 이상의 큰 전계강도에서 전자파적합성을 검토하기 때문에 여러 개의 신호를 동시에 사용함으로써 증폭기의 포화로

인한 전자파 법규 시험 레벨과 비슷한 전계강도의 하모닉스 및 인터모듈레이션이 발생할 수 있음을 리뷰(N3075, N3098, 한국)하였다.

6. 광대역 신호 내성



a) 인터모듈레이션 측정 예



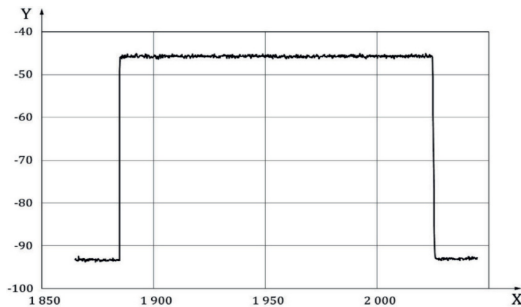
b) 계산된 인터모듈레이션 전계강도

[그림 4-8] 다중신호 내성 시험 시 발생하는 인터모듈레이션 레벨

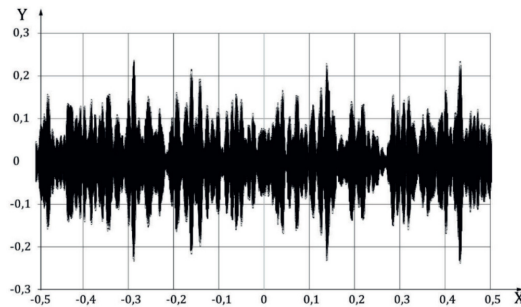
- 1) 차량에 탑재되거나 승차자가 소지하는 이동형 송신기에 대한 차량/전장부품의 내성 시험방법인 ISO 11451-3 4판 FDIS 및 ISO 11452-9 : 2021 2판의 부속서로 포함된 Broadband test signal generation을 전체 시험방법에 적용할 수 있으므로 각 시험방법의 공통 항목을 다루는 ISO 11451-1 5판 2nd DIS, ISO 11452-1 5판 2nd DIS로 이동하였다.
- 2) DAB, DVB-T 등 디지털 방송이나 LTE, IEEE 802.11, IMT-2000 등 이동통신에 사용되는 대역폭을 가진 신호를 모사하는 광대역 노이즈

및 신호를 생성하는 원리, AWG 장비의 다이어그램 및 파라미터, 광대역 신호를 증폭할 때 주의할 사항에 대한 가이드가 포함되어 있다.

- 3) 광대역 신호의 내성은 기준 레벨을 전계강도로 할지 신호 대역폭의 전력에 맞출 지에 대한 검토가 필요하지만, 협대역 신호를 사용함으로써 인해 적합성 검증이 되지 않는 주파수의 공백이 발생하는 기존 시험방법의 단점을 보완할 수 있을 것으로 기대된다.



a) 광대역 노이즈의 스펙트럼 예



b) 타임 도메인 광대역 노이즈

[그림 4-9] 전자파 내성 시험에 사용될 수 있는 광대역 신호의 예

목적으로 제·개정이 추진되고 있으며, 이는 유럽 자동차 전자파 법규와도 조화될 예정이다.

차기 회의는 ISO TC22 SC32 WG3회의가 2024년 2월 19일부터 23일까지, IEC CISPR D 회의가 2월 26일부터 2월 28일까지 싱가포르에서 개최될 예정으로, 한국은 ISO 11451-2 차량 방사 내성 시험방법 개정에 대한 국가의견 및 한국이 신규 제정한 다중신호 내성 시험방법의 업데이트에 대한 기고를 발표할 예정이다. 또한, ISO 11452-11 부품 잔향실 내성 신규 시험셋업에 대한 기고와 CISPR 25 부품 방사 방출 시험장의 6 GHz까지 시험장 검증에 사용하는 표준 안테나에 대한 기고를 발표할 예정이다.

참고문헌

- [1] ISO 11451-2 2nd CD(2023.08.)
- [2] ISO 11451-1 2nd DIS(2023.07)

제4절 향후 계획

현재 자동차 전자파적합성 국제표준은 자율주행 기능의 전자파 안전 및 전자파적합성 검증 강화를

제5장

Local wired port의 전류 프로브 측정 재현성 향상을 위한 측정조건 표준화 동향

성관영 전문위원
(한국화학융합시험연구원)

- 제1절 CISPR F 소위원회 개요
- 제2절 CISPR 15 ED9.0 Amendment1 개정 프로젝트
- 제3절 전류 프로브 측정의 일반적인 사항
- 제4절 Local wired port의 전류 프로브 측정 조건 제안
- 제5절 결론

제1절 CISPR F 소위원회 개요

CISPR F 소위원회는 가정용 및 유사한 목적의 전기모터 구동 및 전열기기, 조명기기, 저전력 반도체 제어 장치 및 유사한 기기로부터 전자파 방해와 내성에 대한 허용기준 및 특정 측정 방법의 국제 제품군 표준화를 담당하고 있는 IEC CISPR 산하의 소위원회이고, CISPR F 소위원회의 회원국은 P-멤버 18 개국 및 O-멤버 25개국이다

CISPR F 소위원회의 구성과 임무는 다음 표 5-1과

같다.

CISPR F의 의장은 독일의 Dr. Stephan Marcus Georg Jacob Kloska, 간사는 호주의 Ms. Suba Ananth이 담당하고 있으며, WG 1 컨비너는 영국의 Mr. Fabio Scalon, 간사는 영국의 Mr. Richard Hughes, WG 2 컨비너는 영국의 Mr. Peter Archer 및 네덜란드의 Ms. Konika Banerjee, 간사는 네덜란드의 Mr. Pierre A. Beeckman이 담당하고 있다.

CISPR F 소위원회의 현재 진행 중인 프로젝트와 유지보수 일정은 아래 표 5-2와 같다.

〈표 5-1〉 CISPR F 소위원회 구성

구성	주요 임무	의장단
F 소위원회	가정용 전기기기, 전동공구 및 조명기기 등에 대한 전자파 방해 및 내성 표준화	Chair: Mr. Stephan Kloska(DE) Vice-Chair: Mr. Fabio Scalon(GB) Secretary: Ms. Suba Ananth(AU) Assistant Secretary: Mrs. Petra Heilmann Hansen(AU)
WG 1	전기모터와 접속 장치를 포함하는 가정용 전기 기기	Convenor: Mr. Fabio Scalon(GB) 2nd Convenor: Zeng Bo (CN)
WG 2	조명기기	Convenor: Peter Archer (GB) 2nd Convenor: Ms. Konika Banerjee(NL)

〈표 5-2〉 CISPR F소위원회의 프로젝트 및 유지보수 현황

프로젝트번호	발행일자	일정	작업반	비고
CISPR 14-1:2020 ED7 유지보수	2020-09-07	2024	WG1	2023년에서 2024년으로 변경
CISPR 14-2:2020 ED3 유지보수	2020-08-31	2024	WG1	
CISPR 15/AMD1 ED9 프로젝트	2021-03	2024-06	WG2	CIS/F/837/CDV (CDV 단계)
CISPR TR 30-1:2012 ED1 유지보수	2012-08-24	2025	WG2	2025년으로 변경
CISPR TR 30-2:2012 ED1 유지보수	2012-08-24	2025	WG2	

제2절 CISPR 15 ED.9.0 Amendment 1 개정 프로젝트

CISPR F 소위원회 작업반 WG2에서는 조명기기 전자파장해 표준인 CISPR 15에 대한 개정 작업을 진행하고 있다. 조명기기 전자파장해 표준 CISPR 15 현재 최신판은 2018년 5월에 발행된 Edition 9.0이며 이 버전에서 개정(Amendment 1) 작업이 (Project Number: CISPR 15/AMD1 ED9) 현재 진행 중이다. 현재까지 개정작업 계획을 보면 위원회 초안(CD) 문서 및 위원회 투표초안(CDV) 문서는 완료되었고 국제표준 최종초안(FDIS) 문서는 2023년말, 국제표준(IS) 문서는 2024년 4월 발행 목표를 하고 있다. 개정작업 이력은 2021-03-19에 1st CD문서(문서번호: CIS/F/801/CD)가 발행되었으나 이 문서에 중대한 기술적 부분에서 각국의 의견이 개진되어 2022-06-10에 2nd CD문서(문서번호: CIS/F/821/CD)가 수정 발행되었다. 이후 2023-04-21 CD문서가 발행되어 2023-07-14까지 각국 위원회의 검토를 받아 2023-10-19일부터 2일 동안 비대면으로 WG2회의에서 검토가 진행되었다.

CISPR 13 ED9.0 Amendment1 주요 기술적 개정 내용은 다음과 같다

- ① ELV 램프의 전력 공급 인터페이스 이외의 로컬 유선 포트의 전도 방해 측정을 위한 전압 프로브 방법 삭제(전류 프로브 측정법만 유지)
- ② 주파수 범위 1 ~ 6GHz에서 합체 포트의 방사 방해에 대한 허용기준 및 측정 방법 도입
- ③ 단일 캡 램프용 원추형 금속 하우징의 시험 설정 변경(원추형 하우징 180° 회전 설정)
- ④ 유선 네트워크 포트의 인터페이스에 연결된 케이블의 배열 수정(케이블 길이 1.0m로 연장)
- ⑤ 대형 피시험기기에 대한 전도 방해에 대한 측정 방법(배치) 명확화
- ⑥ 대량 생산의 통계적 방법에 관한 부록 삭제
본 동향보고서에서는 Local wired port의 전도성 방해 측정법이 현재는 전압 프로브(CVP: Capacitive Voltage Probe) 방법과 전류 프로브 방법을 모두 규정하고 있으나 전압프로브 측정 방법은 측정 불확도가 너무 높아 전류 프로브 방법만 유지하는 개정을 추진하고 있는데 이 전류 프로브 방법도 측정 조건에 따라서 재현성이 부족하여 측정 재현성 향상을 위한 측정조건을 명확화하는 개정이 추진 중이어서 이에 대한 기술적인 배경과 제안된 측정 조건에 대해 소개하고자 한다.

여기서 근거리 유선 포트(Local wired port)는

네트워크에 연결되지 않고 3m 이상인 케이블 또는 보조기기(auxiliary equipment)를 통하여 네트워크에 간접적으로 연결된 케이블에 접속되는 조명 기기의 인터페이스를 말한다. Local Wired Port는 두 개의 카테고리로 구별되는데 보조기기를 통해 간접적으로 네트워크에 연결되는 피시험기기 인터페이스(ELV 램프의 전원 공급 인터페이스 포함)와 직접 또는 간접적으로 네트워크에 연결되지 않고 길이가 3m 이상인 케이블에 연결될 수 있는 피시험 기기의 인터페이스로 구별된다.

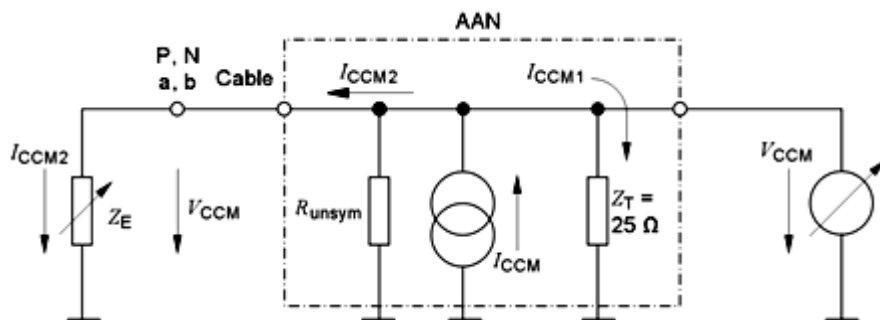
▶ 제3절 전류 프로브 측정의 일반적인 사항

1. 전도성 방해의 전류프로브 측정에 대한 일반적인 사항

전류프로브의 일반적인 측정 방법은 CISPR 16-2-1에 규정되어 있고 전류 프로브 측정 방법의 주요 내용을 간략히 소개한다.

전류 프로브 또는 전류 트랜스포머는 전원선, 신호선, 부하선 등에 유기되는 세 가지 유형의 방해전류에 대한 측정을 한다. 선로수에 관계없이 전류 프로브로 선로들 주위를 클립처럼 집기만 하면

선로상에 흐르는 공통 모드 전류가 측정된다. 선로상의 차동 모드 전류는 크기는 같지만 부호가 반대인 신호를 유도하므로 이들 신호는 상당 부분 상쇄된다. 진폭이 큰 차동 모드 전류가 존재하는 경우 및 진폭이 작은 공통 모드 전류의 측정이 가능하다. 의사회로망 AAN과 피시험기기 사이에서 변환 공통 모드(CCM) 전류를 측정할 때는 전류 프로브를 사용할 수 없다. CCM은 AAN 출력단에서의 전압으로만 측정하여야 한다. AAN의 목적은 피시험기기의 통신 포트에 부착된 회로망 케이블의 방해 전위를 모의 시험하는 것이다. 따라서 피시험기기 통신 포트에서 회로망으로 들어간 차동 모드 전압에 응답하여 AAN은 내부 공통 모드 전압을 발생시키는데, 이 전압은 부착된 회로망 케이블에서 발생하는 변환 공통 모드(CCM) 전압을 대표한다. 내부에서 발생한 이 공통 모드 전압은 그림 5-1에서와 같이 이와 연관된 공통 모드 전류(I_{CCM})를 갖는다. 이 전류는 그림 5-1에서와 같이 AAN 내에서 전류 분배한다(I_{CCM1} 과 I_{CCM2}). 이 전류 분배는 AAN 출력의 공통 모드 임피던스(Z_T)와 AAN의 피시험기기 포트에 나타난 공통 모드 임피던스(Z_E)로 결정된다. AAN 출력단의 공통 모드 임피던스는 제어되므로 AAN 출력단에서의 공통 모드 전압(V_{CCM})은 연결된 회로망의 방해 전압의 척도가 된다. AAN의 피시험기기 포트에 나타난 공통 모드 임피던스는 제어되지 않는다.



[그림 5-1] 공통모드 전류 I_{CCM}

오히려 이는 주파수에 따라 변하고, 피시험기기 크기 및 피시험기기 배치에 따라 달라진다. 따라서 이 CCM 전류(I_{CCM2})는 전류 프로브로 측정할 수 없다.

전류 프로브를 사용한 방해전류 측정방법은 다음의 몇 가지 이유로 유용하다. 첫째는 일부 장치에서 의사전원회로망을 삽입하는 것이 불가능할 수 있는 경우이고 이는 설치된 시스템에서 시험하거나 피시험기기의 전류가 매우 높은 경우에 특히 그렇다. 전류 프로브를 사용하는 두 번째 이유는 주파수 범위의 낮은 쪽 영역에서는 전원 임피던스가 매우 낮아져 방해원이 전류 발생원으로 될 수 있는 경우이다. 이와 같이 전류 프로브를 사용한 전류 측정은 주 전원 연결을 분리하거나 일시 중단시키지 않고 전류 트랜스포머를 사용하여 수행할 수 있다.

전류 프로브가 모든 리드선을 포함하는 케이블을 감싸기 때문에 방해전류의 공통 모드 성분을 직접 측정할 수 있다. 따라서 공통 모드 방해전류를 차동 모드 동작전류로부터 쉽게 분리할 수 있다. 이미 알고 있는 부하 및 신호원 임피던스로 측정할 경우 방해 전압을 계산할 수 있다. 오직 하나의 도선만을 감싼 상태라면 차동 및 공통 모드 방해전류 성분이 중첩되어 측정된다. 이런 경우 (200A 이상) 매우 높은 동작전류가 존재한다면 전류 프로브의 자성 코어가 포화될 수 있기 때문에 잘못된 데이터를 얻을 위험성이 있다.

관심 주파수 범위에 대하여 전류 프로브는 공진이 없는 균일한 주파수 응답이어야 하며 일차 권선의 작동 전류로 인한 포화 효과가 없이 작동해야 한다. 전류 측정 중에 AAN을 사용하여 선로를 중단시키는 경우 전류 프로브는 변환 공통 모드를 측정하기에 부적절하므로 사용하지 않아야 하고 전류 프로브의 삽입 임피던스는 1 W를 초과하지 않아야 한다.

2. 전도성 방해 측정용 전류프로브 상세 사양

전류 프로브 장비의 상세 사양은 CISPR 16-1-2에 규정되어 있고 주요 내용을 간략히 소개한다. 케이블의 비대칭 방해전류는 클램프 형태의 전류 트랜스포머에 의해 소스 도선과 직접적으로 전도성 접촉을 하지 않고 회로의 수정 없이 측정되어 시험의 편리성이 있다. 복합와이어시스템, 전자회로 등은 정상 동작 또는 측정 배치의 교란 없이 측정될 수 있으므로 유용하다. 전류 프로브는 측정될 도체 둘레로 편리하게 조일 수 있도록 구성되어 있다. 도체는 1회 1차 권선을 나타낸다. 2차 권선은 프로브 내에 있다.

전류 프로브는 주된 측정범위가 30 Hz에서 1 000 MHz도 측정하도록 구성할 수 있다. 전류 프로브는 통과대역에서 평탄 주파수 응답이 나타나도록 설계된다. 평탄 통과대역의 아래 주파수에서는 전달 임피던스의 감소로 인하여 감응도가 줄어든 것 외에는 정확한 측정이 이루어질 수 있다. 평탄 통과대역의 상위 주파수에서는 전류 프로브 내의 공진으로 인하여 정확하지가 않다.

추가 차폐 구조물을 가진 전류 프로브는 비대칭 (공통 모드)이나 대칭(차동 모드) 전류의 측정에 사용될 수 있다. 전류 프로브는 피측정 리드가 끊어짐 없이 전류를 측정할 수 있도록 구성되고 주요 인자 특성은 다음 표 5-3과 같이 CISPR 16-1-2에 규정되어 있다.

전류 프로브의 물리적 크기는 측정되는 케이블의 최대 크기, 케이블에 흐르는 최대 전류 및 측정되는 신호주파수의 범위에 대한 함수이고 중심 도체 안에 측정할 도체가 있는 트로이드(toroid)이다. 2차 권선은 프로브를 클램프-온 기능을 쉽게 하기 위한 방식으로 트로이드에 위치되어 있다. 트로이드의 코어와 권선은 정전기 발생을 방지하기 위해 차폐물로

〈표 5-3〉 전류 프로브 특성

삽입 임피던스	1 Ω 임피던스 최대
전달 임피던스	평탄한 선형 범위 : 0.1에서 5 Ω 평탄한 선형 범위하위: 0.001에서 0.1Ω(전류 프로브는 50 Ω으로 중단)
부가된 분로 용량	전류 프로브의 외피와 측정 도체 사이에 25 pF 미만
주파수 응답	전달 임피던스는 규정된 주파수 범위에서 교정. 개별 프로브 범위는 전형적으로 100 kHz ~ 100 MHz, 100 MHz ~ 300 MHz, 및 200 MHz ~ 1000 MHz.
자기 포화 (magnetic saturation)	1 dB 이하 측정 오차에 대하여 1차 리드에서 최대 직류 또는 교류 전원 전류가 규정
외부 자기장의 영향	전류 전달 도체가 프로브의 인접한 위치로 열려있는 전류 프로브로부터 제거된 경우 표시 값에서 40 dB 감소
전기장의 영향	<10 V/m의 전기장에 영향 받지 않음
방향성의 영향	개구 내의 어떤 곳에 놓여진 어떤 크기의 도체에 사용되는 경우, 30 MHz 이하에서 1 dB 이하 그리고 30 MHz에서 1 000 MHz에서 2.5 dB 이하
전류 프로브 개방	최소한 15 mm

싸여 있다. 이 차폐물은 트랜스포머에 단락되는 권선이 없도록 간격을 유지한다. 전형적인 방해 측정용 전류 프로브는 7회~8회의 2차 권선을 사용한다. 권선 수는 최대화한 평탄 주파수 범위 및 1 W 이하의 삽입 임피던스를 보증하기 위하여 최적화된 권선의 비율이다. 100 kHz 미만의 주파수에 대해서 적층실리콘 철심(steel core)이 사용된다. 페라이트심은 100 kHz에서 400 MHz 간에 사용되며, 공심(air core)은 불평형 50 W 출력 트랜스포머에 대한 평형 코일로 200 MHz에서 1 000 MHz 간에 사용된다. 전류 프로브는 계측기에 의하여 검출될 수 있는 전압으로 방해전류를 전환되도록 설계되어 있다. 전류 프로브의 감응도는 전달 임피던스의 항으로 편리하게 표현될 수 있다. 전달 임피던스는 1차 전류에 대한 2차 전압(일반적으로 50 W 저항 부하에 걸리는)의 비율로서 정의된다. 때때로 전달 어드미턴스가 대신 사용된다. 전류 프로브와 방해 측정수신기의 전체 선택도는 수신기 감응도의 함수이기도 하다. 도체 내에서 최소로

검출할 수 있는 방해전류는 전류 프로브의 전달 임피던스(W)에 대한 수신기 감응도(V)의 비율이다. 예를 들어 1 마이크로볼트(1 mV) 수신기와 10 W의 전달 임피던스를 가진 전류 프로브가 사용되는 경우에는, 최소로 측정 가능한 방해전류는 0.1 mA이다. 그러나 1 W의 전달 임피던스를 가진 전류 프로브와 10 mV 수신기를 사용하는 경우 최소로 측정될 수 있는 전류는 10 mA이다. 최대 감응도를 얻기 위하여 전달 임피던스는 가능하면 낮아야 한다. 전달 임피던스 ZT는 흔히 1 W에 대한 데시벨(dB) 단위로 표시된다.

전류 프로브는 일반 트랜스포머 이론으로부터 정확한 등가회로로 나타낼 수 있다. 정확한 회로 및 유도공식을 고려하여 단순화 후에 다음과 같은 전달 임피던스에 대한 식을 얻는다.

$$\text{고 주파수 경우: } Z_T = wM / [(wL/R)^2 + (w^2LC - 1)^{2/2}] \quad (\text{식 5-1})$$

$$\text{중간 주파수 경우: } Z_T = MR_L / (w^2LC = 1) \quad (\text{식 5-2})$$

저 주파수 경우: $Z_T = wM / [(wL / R_L)^2 + 1]^{1/2}$
(식 5-3)

여기서

Z_T : 전달 임피던스

M : 1차와 2차 권선 간의 상호 인덕턴스

L : 2차 권선의 인덕턴스

R_L : 2차 권선(보통 10 W)의 부하 임피던스

C : 2차 권선의 분포 정전용량

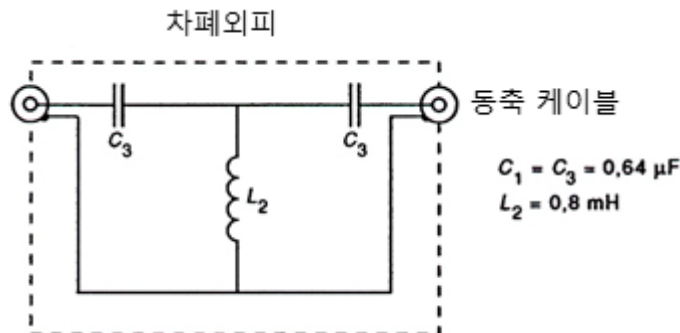
w : 라디안/초로 표시되는 각 주파수

위식으로부터 일정한 부하 임피던스에 대해서 중간 주파수에서의 최대 전달 임피던스는 2차 인덕턴스에 대한 상호 인덕턴스의 비율에 비례한다(상수 RL). 고주파수 반 전력 지점은 2차 분포 정전용량의 리액턴스가 부하저항과 같을 때 발생한다.

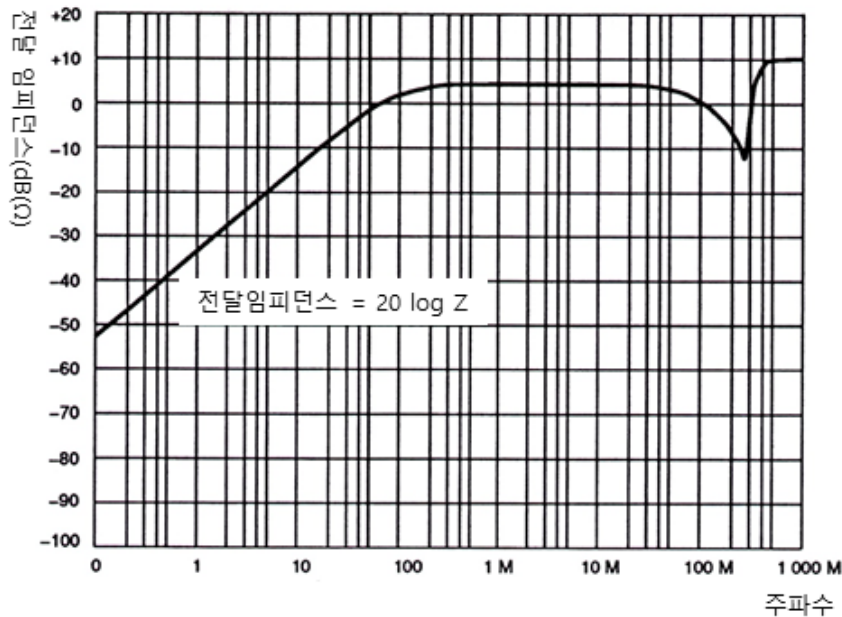
전류 프로브는 기본적으로 트로이드 트랜스포머이므로 2차 임피던스를 1차측에 반영한다. 8회 2차 권선과 50 Ω 부하의 경우 일반적으로 삽입 임피던스는 약 1 Ω 이다. 측정 회로의 소스 및 부하 임피던스의 조합이 1 Ω 보다 큰 경우 전류 프로브를 적용해도 1차 전류 흐름이 크게 변경되지 않는다. 그러나 회로 소스와 부하 임피던스의 합이 삽입 임피던스보다 작을 때 전류 프로브를 적용하면 1차 전류가 상당히 변경될 수 있다. 하나의 의도된 전류 프로브의 적용은 직류

300 A 또는 교류 100 A까지 적용할 수 있는 1차 전력선에 흐르는 방해전류 측정이다. 또한 전류 프로브는 강한 외부 자기를 발생하는 장치의 근처에서도 사용될 수 있다. 전류 프로브의 전달 임피던스는 이들 전력선의 전류 또는 플렉스 밀도에 의해 변경되어서는 안 된다. 그러므로 자기장 회로는 이 전류가 포화되지 않도록 설계되어 있다. 교류전력전류는 20 Hz~15 kHz의 주파수 범위에 있을 수 있으므로 이들 전력 주파수에서 전류 프로브 출력은 관련된 수신기의 입력회로를 손상할 수 있다. 그러한 것을 해결하는 방법은 그림 5-2와 같은 전력 프로브와 수신기 사이에 전원 주파수 제거 필터를 삽입하는 것이다.

다음 그림 5-3은 100 kHz에서 1000 MHz의 평탄한 통과대역을 가진 전류 프로브의 대표적인 주파수 응답 특성을 보여주고 있다.



[그림 5-2] 9 kHz의 차단 주파수를 가지는 고역 통과 필터



[그림 5-3] 대표적 전류 프로브의 전달임피던스

제4절 Local wired port의 전류 프로브 측정 조건 제안

1. 근거리 유선 포트(Local wired port)의 전도 방해 측정에서 전압 프로브 방법 삭제

Local wired port는 네트워크에 연결되지 않고 3 m 이상인 케이블 또는 보조기기(auxiliary equipment)를 통하여 네트워크에 간접적으로 연결된 케이블에 접속되는 조명기기의 인터페이스를 말한다. Local Wired Port는 두 개의 카테고리로 구별되는데 보조기기를 통해 간접적으로 네트워크에 연결되는 피시험기기 인터페이스(ELV 램프의 전원 공급 인터페이스 포함)와 직접 또는 간접적으로 네트워크에 연결되지 않고 길이가 3m 이상인 케이블에 연결될 수 있는 피시험기기의 인터페이스로 구별된다.

현재의 CISPR 15 Ed.9.0 버전에는 Local wired port 전도성 방해 시험은 전압프로브(CVP) 방법과 전류프로브(CP) 방법 모두에 대해 요구사항을 명시하여 허용하고 있으나 CISPR F소위원회 WG2에서는 전압프로브 방법이 측정 불확도가 높다는 실험 데이터를 근거로 전압 프로브 방법을 삭제하고 전류프로브 측정 방법만 유지하기로 결정하였으며 Local wired port의 전압 프로브 측정 전도성 방해 허용기준도 삭제한다. 결론적으로 다음 표 5-4와 같이 전류 프로브 측정 방법만 유지되는데 전류 프로브 측정 방법도 측정 불확도 개선(측정 재현성 개선)을 위한 시험 set-up에 대한 수정 제안이 추가되었다.

표 5-5은 조명기기의 각 Port별 전도성 방해 측정 방법을 정리한 것이다. 전원이 아닌 유선 네트워크 인터페이스(예: 통신 또는 데이터 전송)에서의 방해 전압 측정은 CISPR 32에 명시된 비대칭 의사전원망

〈표 5-4〉 Local wired port의 방해 전류 허용기준: ELV 램프의 전원 공급 인터페이스 이외의 로컬 유선 포트 방해 허용기준

Frequency range MHz	Limit dB(μA)		Method
	Quasi-peak	Average	
0.15 to 0.50	40 to 30	30 to 20	Current probe (CISPR 16-2-1의 8.5.2.3)
0.50 to 30	30	20	

* 주파수 범위 0.15 MHz ~ 0.5 MHz에서 허용기준은 대수적 감소

* 방해 전류 허용기준은 150 Ω의 공통 모드(비대칭 모드) 임피던스를 사용하여 도출되었으며, 적용된 변환 계수는 $20 \log(150) = 44$ dB이다.

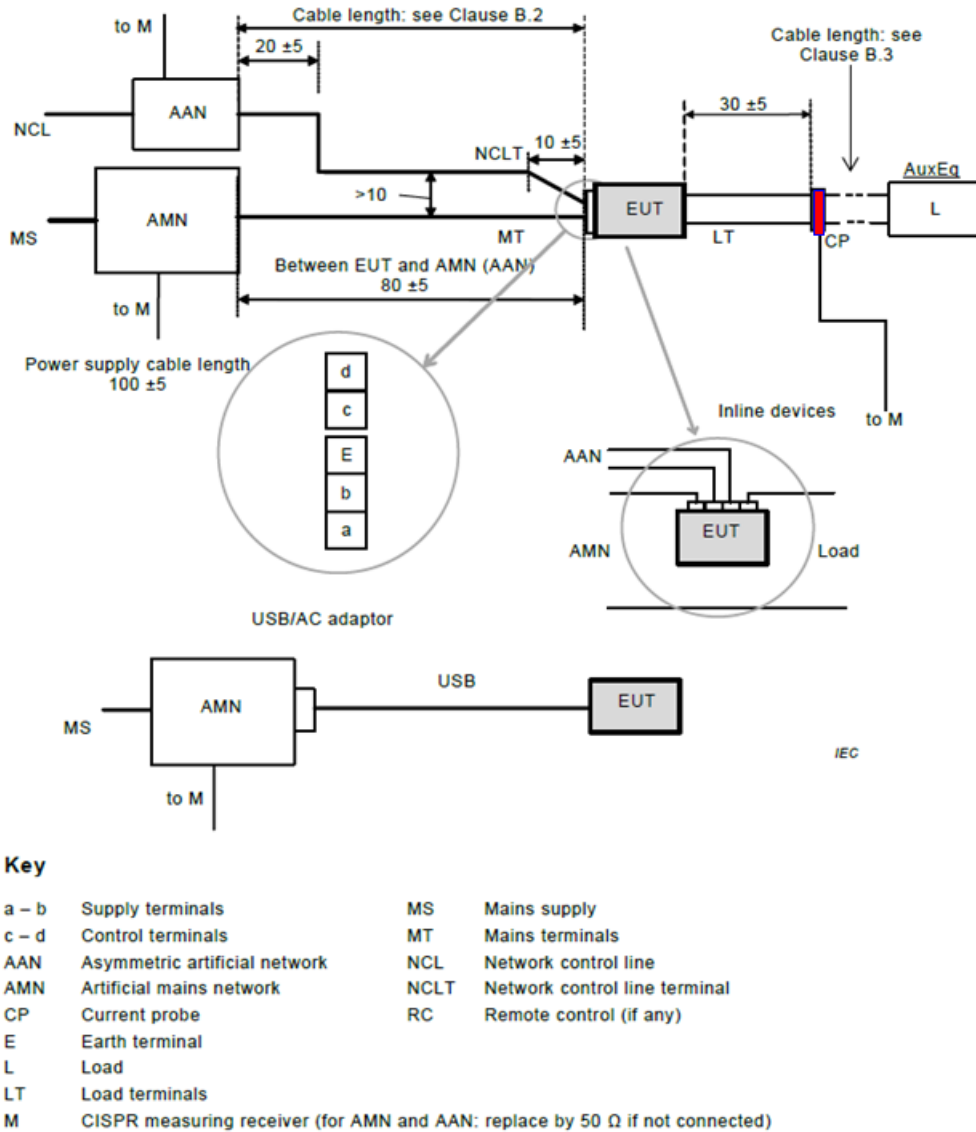
〈표 5-5〉 Port별 표준화된 전도성 방해 측정 방법의 개요

Interface	주파수 범위	기준
전원공급 인터페이스	9 kHz ~ 30 MHz	CISPR 16-1-1 (리시버) CISPR 16-1-2 (보조 장비: AMN) CISPR 16-2-1 (측정 방법)
전원 공급 인터페이스 이외의 유선 네트워크 인터페이스(예: 통신 또는 데이터 전송용)	150 kHz ~ 30 MHz	CISPR 16-1-1 (리시버) CISPR 16-1-2 (AAN, CVP) CISPR 16-2-1 & 8.4(측정 방법)
	150 kHz ~ 30 MHz	CISPR 16-1-1 (리시버) CISPR 16-1-2 (전류 프로브) CISPR 16-2-1 & 8.4(측정 방법)
Local wired port - ELV 램프의 전력 공급 인터페이스	9 kHz ~ 30 MHz	CISPR 16-1-1 (리시버) CISPR 16-1-2 (보조 장비: AMN) CISPR 16-2-1 & A.5.1(측정 방법)
Local wired port - ELV 램프의 전력 공급 이외의 인터페이스	150 kHz ~ 30 MHz	CISPR 16-1-1 (리시버) CISPR 16-1-2 (전류 프로브) CISPR 16-2-1 & 8.5.2.2(측정 방법)

(AAN)를 사용하여 측정하고 AAN은 기준 접지면에 결합되어야 하며 CISPR 16-2-1에 명시된 측정 방법을 적용하고 사용 지침에 케이블 LCL이 지정되어 있지 않으면 Cat. 3 LCL이 적용한다. 전원이 아닌 유선 네트워크 인터페이스(예: 통신 또는 데이터 전송)에서의 방해 전류 측정은 CISPR 16-2-1에 명시된 전류 프로브(CP) 방법을 사용하고 동축 또는 차폐 케이블의 경우에만 외부 보호 절연을 끊고(차폐 노출) 케이블 스크린과 RGP 사이에 물리적 연결이 있는 150 Ω 저항을 연결, 150 Ω 저항은 스크린의 외부 표면에서 접지까지 ≤0.3m이어야 하고 전류

프로브는 CISPR 16-1-2:2014의 5.1절에 따라야 한다.

Local wired port의 인터페이스에 연결된 케이블 배열에 있어서 네트워크에 연결되지 않고 길이가 3m 미만인 인터페이스는 전도성 방해를 평가하지 않는다. 이러한 인터페이스에 연결된 케이블의 길이는 $0.8 \text{ m} \pm 20\%$ 또는 사용 설명서에 표시된 최대 허용 케이블 길이 중 더 짧은 길이여야 하고 케이블은 일직선으로 배열한다. 네트워크에 간접적으로 연결된 Local wired port의 케이블에 대해서 노이즈 완화 장치가 연결 케이블에 포함되어 있는 경우 노이즈



[그림 5-4] 외부 모듈의 전도성 방해 측정을 위한 배치

완화 장치를 유지하면서 연결 케이블을 해당 길이로 조정한다. 네트워크에 간접적으로 연결된 로컬 유선 포트 이외의 케이블에 대해서 노이즈 완화 장치가 연결 케이블에 포함되어 있는 경우 방해 완화 항목을 유지하면서 연결 케이블을 해당 길이로 조정한다. 전류 프로브 측정을 위해 다음 그림 5-4와 같이 전류

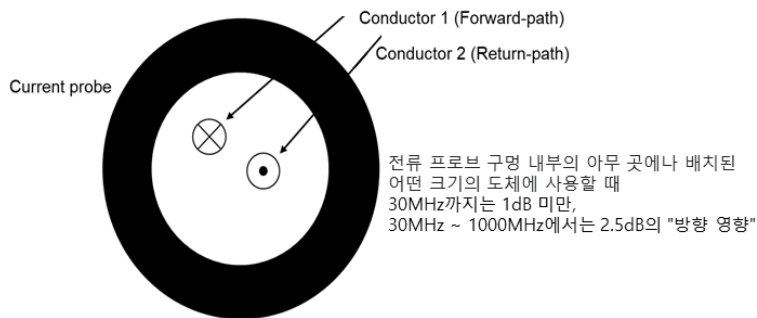
프로브는 피시험기로부터 (30 ± 5) cm의 거리에 위치하고 전류 프로브는 공통 모드 전류를 측정하기 위해 피시험기에 연결된 인터페이스의 모든 리드를 포함한다. 예를 들어 그림 5-4는 조명 모듈에 대한 이 원칙을 보여주고 있고 또한 등가구의 Local wired port에서 전도성 방해 측정에도 적용한다.

2. Local wired port의 전류 프로브 측정법의 재현성 향상을 위한 측정조건 검증

1) 전류 프로브의 피드스루 내 케이블 위치와 전류 방향 영향 시험

Local wired port의 전도 방해를 측정할 때 전류 프로브로 측정된 공통 모드 방해 측정의 재현성이 더 나쁜 것으로 확인되었다. 전자식 안정기 또는 할로겐 컨버터(EUT)에서 부하(LED 또는 Halogen 램프)까지의 전선에 전류 클램프를 사용하여 공통 모드 전류를 측정할 때 이 낮은 재현성이 관찰되었다. 이러한 측정 결과, 특히 Local wired port 전선에 큰 차동 모드 전류(수 암페어)가 흐르는 경우 전류 프로브 내에서 Local wired port 케이블의 공간적

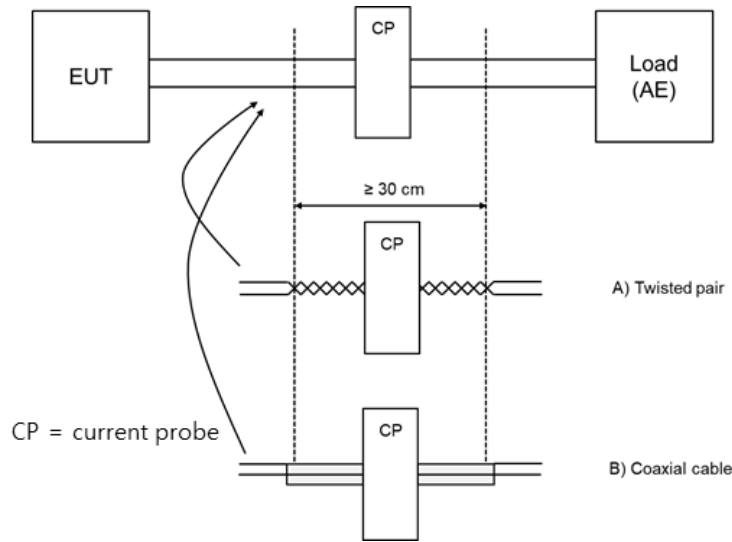
위치와 방향에 상당한 영향이 있다는 것이 밝혀졌다. 일반적인 LED조명의 컨버터는 높은 펄스 폭 변조로 인해 차동 모드 출력 전류를 생성한다. 그 이유는 현재 프로브의 비이상적인 동작 때문이다. 이상적인 전류 프로브는 차동 및 공통 모드 전류를 전달하는 케이블의 두 전선이 전류 프로브 내에 있는 경우 완벽하게 독립적인 차동 모드를 억제한다. 그러나 CISPR 16-1-2:2014+AMD1:2017의 5.1.3에 따르면 전류 프로브는 30 MHz까지는 1 dB 미만, 30 MHz ~ 1000 MHz에서는 2.5 dB의 “방향 (orientation) 영향”을 가질 수 있다. 전류 방향에 의한 1 dB 영향의 이 낮은 값조차도 높은 차동 모드 전류가 존재하는 경우 수신기에서 상당한 판독값 차이를 유발할 수 있다는 것을 보여주는 계산이 다음 표 5-6에서와 같다.



[그림 5-5] 전류프로브 내 와이어의 “방향 영향”(CISPR 16-1-2:2014+AMD1:2017의 5.1.3)

〈표 5-6〉 CISPR 16-1-2에서 강한 차동 전류의 경우 도체 방향의 영향 계산

Differential current[A]	1 A	1 A	0.01 A
Differential current[dBμA]	120 dBμA	120 dBμA	80 dBμA
Influence of orientation value (Difference between two conductors)	1 dB	0.01 dB	0.1 dB
Conductor 1 current reading	120 dBμA	120 dBμA	80 dBμA
Conductor 2 current reading	119 dBμA	119.99 dBμA	77.99 dBμA
Conductor 1 current reading	1.0000 A	1.0000 A	0.0100 A
Conductor 2 current reading	0.8913 A	0.9988 A	0.0099 A
Delta(Conductor 1 - Conductor 2)	0.1087 A	0.0012 A	0.0001 A
Result on receiver(Reading):	100.7 dBμA	61.2 dBμA	41.2 dBμA



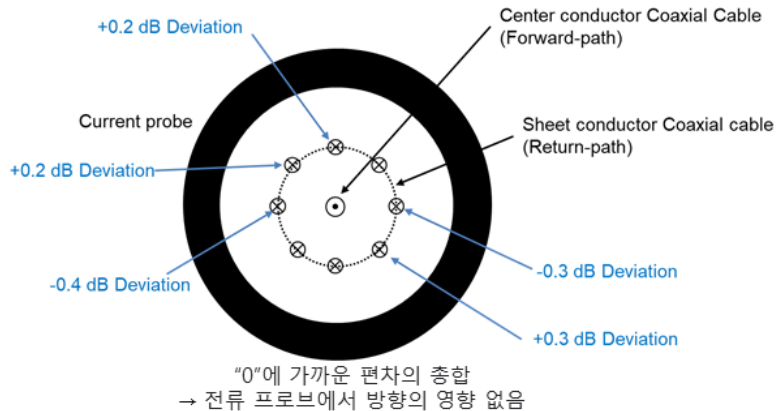
[그림 5-6] EUT와 부하사이의 케이블을 꼬임선(twisted pair) 또는 동축케이블로 대체

측정된 공통 모드 전류의 경우 1 dB 영향은(전류 방향에 의한) 수신기에서 판독값의 최대 변화가 1 dB이기 때문에 중요하지 않다. 그러나 차동 모드 전류의 경우 1 dB는 판독값에 상당한 변화를 일으킬 것이다. 위의 표1에서 보여준 계산은 실제로 허용된 1dB에 비해 매우 낮은 변동의 0.01dB 영향에서도 수신기에서 61 dBμA의 판독값이 나타날 것임을 보여준다. 이는 150 kHz에서 40 dBμA의 허용기준(표 5-4)보다 훨씬 높다. 따라서 전류 프로브의 매우 제한된 차동 모드 배제가 분명해져 전류 프로브(방향의 0.01 dB 영향)가 전압 프로브 측정법 삭제의 해결책이 아님을 알 수 있다. 다양한 측정은 그림 5-6과 같이 부하 케이블이 전류 프로브를 통과하는 위치에서 꼬임선(twisted pair) 또는 동축 케이블을 Local wired port 케이블로 사용할 때 상당한 개선이 될 수 있다는 것을 보여준다. 전류 프로브를 통한 꼬임 또는 동축 전류 분포가 차동 전류를 훨씬 더 잘 억제할 수 있다는 가정이 가능하다.

이 동축 케이블에서 외부 스크린은 차동 전류에 대한 하나의 경로(예: 순방향 경로)로 사용되며 내부

도체는 차동 전류에 대한 두 번째 경로(예: 복귀 경로)로 사용된다. 동축 케이블이 전류의 방향에 대한 영향을 낮추는 이유가 평균화 효과라고 가정하고 이 평균화 효과를 설명하기 위해 그림 5-7에 나타내었다.

전류가 다른 도체 주변의 다양한 위치에서 변류기를 통과하기 때문에 평균화 효과가 나타난다. 변류기는 전류가 코어를 통과하는 위치를 신경 쓰지 않는다. 궁극적으로 각 전류 턱은 코어 및 권선을 통해 상응하는 자속을 생성한다. 동축 케이블은 전류 프로브의 방향 오류 영향이 동축 케이블의 중심에서 흐르는 전류 턱과 이 주위의 코어 링(동축)에 분포된 반환 전류에 의해 평균화되도록 한다. 동축에 대한 2선 선로의 접합부에서 시스템에 비대칭이 있지만 이것은 심각한 영향을 미치지 않는 것 같다. 아마도 30 MHz(파장 = 10 m)에서도 선이 파장(10 m)에 비해 매우 짧아서(30 cm) 영향을 미치지 않을 것이다. 주파수가 낮을수록 불연속성이 덜 관련되고 따라서 측정에서 추가 공통 모드가 나타나지 않는다. 이런 이론적 배경에 따라서 전류 프로브 측정 배치는 다음과 같이 추가 제안되었다.



[그림 5-7] 변류기를 통한 차동 전류에 대한 동축 케이블의 평균화 효과

Local wired port 케이블의 공간적 위치와 방향을 변경하여 전류 프로브로 측정된 방해 전류에 영향이 있는지 확인해야 한다. 전류 프로브의 공간 위치에 따른 방해 전류의 변화가 이 측정에 대해 결합된 CISPR 측정 불확도($2 \times UC_{ISPR} = 5.8 \text{ dB}$)의 두 배를 초과하는 경우 프로브 배열의 다음 두 가지 측정이 모두 적용되어야 한다. ①상당한 차동 모드 전류를 전달하는 Local wired port 케이블의 전선은 비금속 고정 장치를 사용하여 클램프 피드스루의 중심에 고정되어야 한다. ②추가로 상당한 차동 모드 전류를 전달하는 Local wired port 케이블의 전선은 Local wired port 케이블의 대체품으로 접지되지 않은 동축 케이블 또는 연선 케이블로 최소 30 cm 길이로 대체해야 한다. 꼬임선(twisted pair) 케이블은 cm당 최소 2회의 꼬임이 있어야 한다.

다른 케이블은 전류 프로브 내의 비이상적인 전자기장 패턴과 방향의 영향으로 인해 상당한 측정 오류를 유발하는 것으로 관찰되었다.

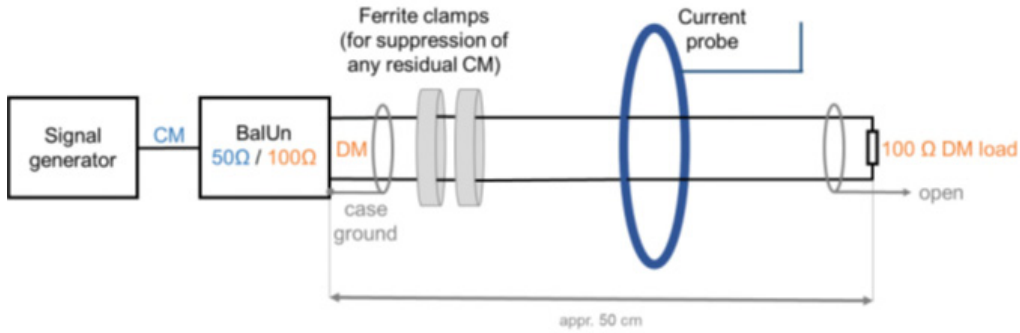
2) 실험실 레벨의 전류 프로브 시험의 재현성 개선 실험

실제로는 전류 프로브 시험방법에서 사용된 케이블 및 시험 대상물에 따라 전류 클램프 피드스루에서

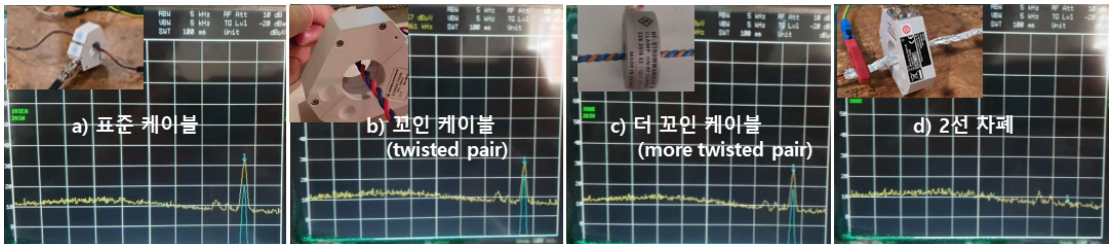
케이블의 위치에 크게 의존한다는 시험 결과를 보이고 있다(그림 5-9, 표 5-7, 그림 5-10). 따라서 WG2 작업반에서는 다음의 추가적인 시험과 분석을 통해 재현성을 확보 하였다.

CISPR 15 Ed.9:2018에 따라 Local wired port에서 전류 프로브 측정 방법에서 관찰된 높은 불확도에 대한 다양한 완화 개념의 영향을 조사하기 위해 그림 5-8과 같이 차동 전류 측정 시험 시스템을 구성하고 신호 발생기를 통해 특정 주파수 24 MHz와 450 kHz를 선택하여 시험하였다. 전류 프로브에 삽입되는 케이블 형태를 a) 비차폐 표준 케이블, b) 꼬인 케이블(twisted pair), c) 더 꼬인 케이블(more twisted pair) 및 2선 차폐 케이블 보전을 시험한 결과 그림 5-9와 표 5-7과 같이 표준 케이블의 경우 DM 픽업 신호가 선명하게 보이고 있고 선 꼬임으로 최대 및 최소 차동 전류 측정값 간의 차이는 450 kHz에서는 최대 6 dB 및 24 MHz에서는 최대 27 dB까지 감소될 수 있다는 것을 보여주고 있다. 또 2선 차폐 케이블은 차동전류 값이 측정되지 않았다.

전류 프로브에서 관찰된 원치 않는 DM 모드 전류의 영향은 꼬이지 않은 단순한 케이블의 경우 두 리드의 비대칭 배열로 인해 프로브 내의 용량성 결합으로 인해 가장 많이 발생한다. 두 개의 단일



[그림 5-8] 차동 전류에 대한(케이블 위치/형태) 시험 구성



[그림 5-9] 차동 전류에 대한 케이블 형태별 시험 결과(150 kHz - 500 kHz)

〈표 5-7〉 차동 전류에 대한 케이블 위치 및 형태별 최대/최소값 비교

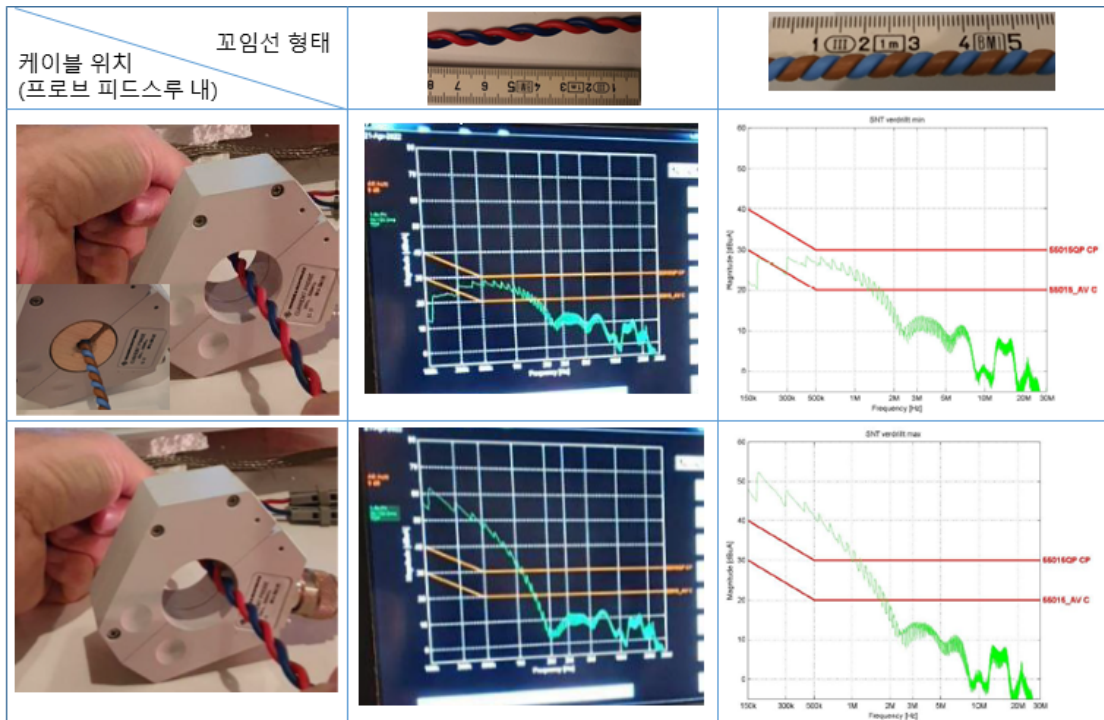
		a) 표준 케이블	b) 꼬인 케이블	c) 더 꼬인 케이블	d) 2선 차폐
450 kHz	max. peak	32 dB μ V	27 dB μ V	27 dB μ V	n.a.
	min. peak	20 dB μ V	21 dB μ V	18 dB μ V	n.a.
	Δ	12 dB μ V	6 dB μ V	9 dB μ V	n.a.
24 MHz	max. peak	61 dB μ V	49 dB μ V	42 dB μ V	n.a.
	min. peak	27dB μ V	35 dB μ V	35 dB μ V	n.a.
	Δ	34 dB μ V	14 dB μ V	7 dB μ V	n.a.

시험 주파수(450 kHz 및 24 MHz)의 이상적인 실험실 설정에서는 케이블을 간단히 꼬면 효과가 크게 줄어들 수 있으며 2선 차폐 케이블을 적용하면 완전히 상쇄된다. 실제 EUT에 대한 케이블의 형태에서 꼬인 케이블과 2선 차폐 케이블은 원치 않는 효과와 관련하여 상당한 개선을 제공한다든 것을 보여주고 있다.

3) 실제 EUT 레벨의 전류 프로브 시험의 재현성 개선 실험

실제로 전류 클램프의 피드스루 개구부에서 케이블의 위치, 시험 대상 및 사용된 케이블 형태에 크게 의존한다. 아래 그림 5-10에서와 같이 전류 프로브 내 케이블의 위치 및 꼬임 형태별 시험 결과를 보여주고 있다.

cm당 1회 꼬임이 있는 꼬인 케이블을 사용할 때



[그림 5-10] 실제 EUT의 차동 전류에 대한 케이블 위치/형태별 시험 결과

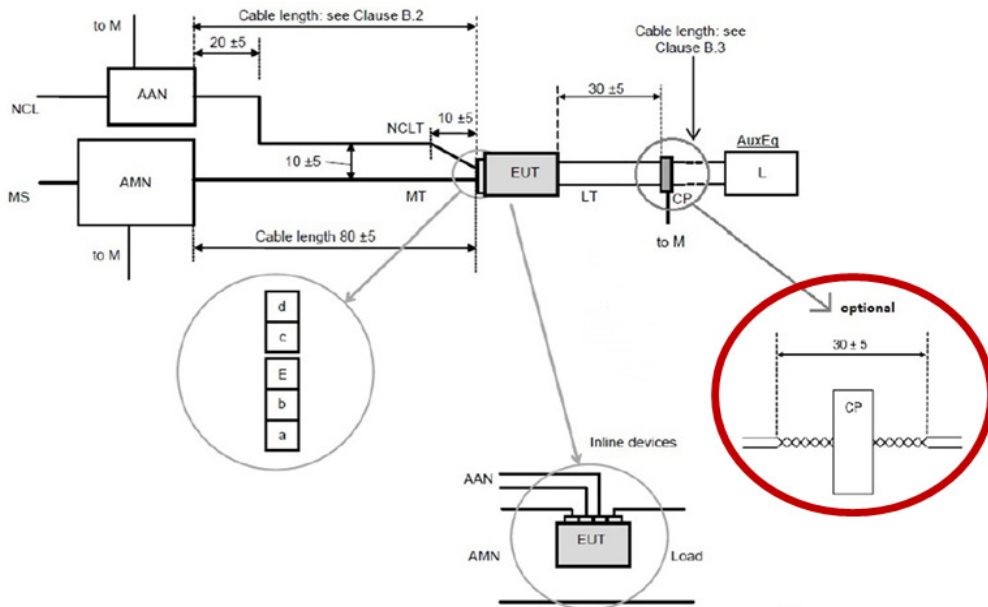
피드스루 개구부의 위치에 따라 유사한 차이가 발견되었고 500 kHz 이하 범위에서 간섭은 꼬이지 않은 케이블보다 약 10 dB 낮다. 꼬이지 않은 케이블과 달리 전류 프로브 피드스루 개구부 내에서 케이블을 비틀어도 더 이상 영향을 미치지 않았다. 또한 cm당 2회의 꼬임이 있는 꼬인 케이블을 사용할 때 피드스루 개구부의 위치에 따라 유사한 차이가 또한 있었고 500 kHz 이하 범위의 간섭은 cm당 1회 꼬임보다 약 10 dB 정도 낮다.

4) 전류 프로브 측정 재형성 개선을 위한 시험 set-up에 대한 수정 제안 결론

전류 프로브 측정시 전선의 종류와 전류 프로브의 내부에 전선이 어떤 위치에 있는지에 따라 데이터가 차이가 많아 측정의 재형성 확보에 문제가 있음을

보여 주고 있다. 전류 프로브에 통과하는 전선의 종류와 위치에 따라 방해 전류 측정 결과값이 차이가 있다는 것이 실험적 검증은 바탕으로 WG2작업반에 보고되었고 표준 시험 방법이 제안되었다.

전선에 큰 차동 모드 전류가 흐르는 경우 전류 프로브 내에서 Local wired port 케이블의 공간적 위치와 방향에 상당한 영향이 있다는 것이 밝혀져서 프로브 피드스루 내(중앙) 전선을 배열하고 비금속 고정 장치를 사용하여 클램프 피드스루의 중심에 고정되어야 한다는 것이 제안되었다. 또한 그림 5-11과 같이 접지되지 않은 동축 케이블 또는 연선 케이블로 최소 30 cm 길이로 대체해야 하며 꼬임선(twisted pair) 케이블은 cm당 최소 2회의 꼬임이 있어야 한다.



[그림 5-11] Local wire port의 제안된 전류 프로브 측정 배치

제5절 결론

현재 조명기기의 전자파 장애 국제 표준은 2018년 5월에 발행된 CISPR15 Ed9.0이며 CISPR F 소위원회 작업반(WG2)에서는 이 버전에서 개정 (Amendment 1) 작업이(Project Number: CISPR 15/AMD1 ED9) 진행 중이다. 2023-04-21 CDV 문서가 발행되어 2023-07-14까지 각국 위원회의 검토를 받아 2023-10-19일부터 2일 동안 비대면으로 WG2회의에서 검토가 진행 되었다. 기존의 CISPR 15표준에서 새로운 형태의 제품들에 대한 요구 사항들이 추가되어 적용 제품의 범위가 확대되고 측정 주파수 범위도 확대된다. 시험방법 개정, 측정 주파수 확장, 시험조건 설정에 관한 개정 내용들이 많이 포함되어있다. 특히 Local wired port의 전도성 방해 측정은 전류 프로브 방법만 허용이 되는데 시험조건에 따라 시험 결과의 현저한 차이가 발생하고 있어

시험의 재현성 확보를 위해 시험 배치 조건에 대해 추후 계속 검토가 될 예정이다. 이와 같은 개정은 우리나라 관련 전문가들은 국제표준변화를 선제적으로 파악하여 대응하고 지속적 연구와 대안 제안으로 국제표준화에 반영될 수 있도록 해야 할 것이다.

제6장

GHz 대역 허용기준 산정 모델 표준화 동향

권종화 책임
(한국전자통신연구원)

제1절 개요

제2절 6 GHz 이상 주파수대역에서 계산 모델링 세부 사항

제3절 5G 서비스 보호를 위한 허용기준 관련 파라미터

제4절 1 GHz 이상의 모델에 대한 확률 계수 결정

제5절 허용기준 제안

제1절 개요

모바일 서비스의 증가와 더 높은 주파수에서 방출하는 전자 장비는 무선 서비스에 대한 간섭 가능성을 높인다. 따라서 전자 장비로부터 6 GHz 이상 주파수대역에서의 원치 않는 방출로부터 무선 서비스, 특히 5G 응용서비스의 보호가 국제 표준화 작업의 초점이 되었다. 2018년 부산에서 열린 CISPR 총회에서 국가 위원회들은 모든 방출 표준에서 5G 주파수대역인 FR1과 FR2를 최대한 신속히 보호하기 위한 요구사항을 도입할 것을 요청했다. 최종 결정은 CISPR 산하 H소위원회에 그러한 요구사항을 도출하기 위해 적절한 모델을 개발한 후 공통 방출 표준(generic emission standard)인 IEC 61000-6-3, IEC 61000-6-8 및 IEC 61000-6-4의 요구사항에 도입하는 프로젝트를 시작하도록 하는 것이었다. CISPR TR 16-4-4에 대한 이 부속서는 이러한 표준에 대한 그러한 모델과 허용기준에 대한 제안을 제공해야 한다.

IEC CISPR H소위원회 산하 AHG9에서 6~40 GHz 주파수대역의 방사성 방출에 대한 허용기준을 산정하기 위한 모델을 개발하기 위한 프로젝트를

추진하고 있다. 기존에는 CISPR TR 16-4-4에서 제시하고 있는 GHz 대역 허용기준 산정 모델을 기반으로 5G 무선서비스 보호를 위한 허용기준을 산정하였다. 그러나 최근에는 허용기준 산정을 위해 사용되는 파라미터를 보다 현실적인 상황에서 반영하고, 특히 보호대상 무선서비스와 불요 전자파 발생원들 사이의 상대적인 위치에 의한 영향을 몬테카를로 시뮬레이션에 적용하는 등 새로운 허용기준 산정 모델이 제정되고 있다.

본 문서에서는 기존 GHz 주파수대역 방사성 방출 허용기준 산정 모델에 대해 현재 IEC CISPR SC H 산하 프로젝트 그룹에서 논의되고 있는 개선된 허용기준 산정 모델을 기술하고, 개정된 허용기준 산정 모델을 기반으로 5G 서비스 보호를 위해 산정된 허용기준을 기술하였다. 향후 5G 무선서비스 보호를 위해 사용된 방사성 EMI 허용기준 산정 모델과 6G 무선서비스에 대한 파라미터(최소 회망 전기장 세기, 보호비율 등)를 사용하여 적절한 허용기준을 산정 하는데 활용할 수 있을 것이다.

제2절 6 GHz 이상 주파수대역에서 계산 모델링 세부 사항

2.1. CISPR TR 16-4-4에 따른 1 GHz 이상 허용기준 산정 모델

CISPR TR 16-4-4는 조사된 무선 응용분야에 고유한 파라미터와 방해 발생원과 피해대상 사이의 상호 작용을 설명하는 확률 인자를 기반으로 허용기준 유도를 위한 수학적 모델을 설명한다. 더 높은 주파수(1 GHz 이상)의 경우 확장된 확률 인자가 있는 관련 모델이 CISPR TR 16-4-4의 5.7에 제안되어 있다.

$$E_{\text{Limit}} = \mu_w - R_p + \mu_{p1} + \mu_{p2} + \mu_{p3} + \mu_{p4} + \mu_{p5} + \mu_{p6} + \mu_{p7} + t_{\beta}\sigma_i - t_{\alpha}(\sigma_{p1}^2 + \sigma_{p2}^2 + \sigma_{p3}^2 + \sigma_{p4}^2 + \sigma_{p5}^2 + \sigma_{p6}^2 + \sigma_{p7}^2)^{1/2} \quad (1)$$

여기서 파라미터들은 다음과 같다.

E_{Limit} : 방해 발생원으로부터 지정된 거리 d에서 허용되는 방해 전기장 강도의 평균값

μ_w : 해당 무선 서비스의 서비스 영역 가장자리에서 원하는 전기장 강도의 최소값

R_p : 수신기의 안테나 포트나 급전 지점에서 신호 대 방해 비율(즉, 보호 비율)의 최소 허용 값

μ_{p1} : 방해 전기장 강도의 주엽(main lobe)이 피해 수신기 방향이 아닌 기대 평균 값

μ_{p2} : 지향성 수신 안테나가 방해 발생원 방향에서 최대 픽업을 갖지 않는 기대 평균 값

μ_{p3} : 이동 수신기의 경우 방해원과 일정 거리를 유지하면 신호 대 잡음비가 향상될 수 있고 이동 수신기가 해당 무선 서비스 지역 내에서 잘 사용된다는 기대 평균값

μ_{p4} : 방해 신호가 허용기준 미만일 때 기대되는 평균 마진

μ_{p5} : 생성된 방해 신호의 유형이 수신 시스템에 상당한 영향을 미칠 것으로 예상되는 평균값

μ_{p6} : 방해 발생원이 장애가 발생할 가능성이 있는 수신 시스템과의 거리에 위치할 것으로 예상되는 평균값

μ_{p7} : 건물이 어느 정도의 추가 감쇠를 제공할 것으로 예상되는 평균 값

t_{α} : $F^{-1}(\alpha)$, 여기서 α 는 서비스가 방해 받지 않고 수신될 확률(종종 0.8로 선택됨)이고, F는 품질 함수임

t_{β} : 허용기준에 대한 적합성 확률 수준에 해당하는 중앙 집중식 분포 함수의 β -분위수

σ_i : 방해 전기장 강도의 표준 편차

반면 μ_w 및 R_p 는 무선 서비스 데이터베이스(IEC EMC Zone) 또는 이와 유사한 것에서 가져온다.

2.2. 방사성 방해 전력에 기반한 모델 고려 사항

독일 연구의 초기 조사에 따르면 고주파수 범위의 특성으로 인해 방사성 방해 전기장 강도에서 방사성 방해 전력으로 초점을 맞춰 측정량을 변경하는 것이 유리할 수 있음을 보여주었다.

고주파수는 본질적으로 피시험기기의 더 많은 지향성 방사 빔과 관련되기 때문에, 각도 스캔을 통한 최대값 검출은 상당히 증가된 각도 분해능의 필요성으로 인해 더 어려워진다. 정확히는 구에 대해 방출된 전기장 강도에 대한 전체 스캔이 필요하다. 또한 기존의 전기장 강도 측정 설정에서 장비의 민감도와 관련된 요구사항은 높은 주파수에서 상당히 높아진다. 전기장 강도 측정 방법의 복잡성 증가를 피하기 위해 피시험기기의 방사 전력을 직접 결정하는 방법의 적용 가능성을 고려해야 한다.

그러나 이러한 방식은 모델링 절차에서의 측정량을 방사성 전력으로 전환, 시험 방법의 정의 및 적절한 허용기준 도출과 관련하여 더 많은 조사가 필요하기 때문에 여기에 제시된 허용기준에 대한

제안은 방사성 전기장 강도를 고려한 기존의 방법을 기반으로 한다.

▶ 제3절 5G 서비스 보호를 위한 허용기준 관련 파라미터

3.1. FR1 대역 기지국에 대해 허용기준 관련 파라미터

NR 응용은 모든 동작 모드를 완전하게 지원하지

않는 서로 다른 주파수 대역으로 분할된다. 모든 대역이 실제로 NR에 사용되는 것은 아니지만 대역은 n1에서 n90까지 번호가 매겨진다.

따라서 특정 대역에 대해 선택된 보호 비율은 지원되는 모든 동작 모드(채널 간격 및 부반송파 간격)에 대해 SNR 값의 최대값이다. 이러한 절차의 결과는 (표 6-1)의 6열이다.

〈표 6-1〉 FR1의 IEC 무선 서비스 데이터베이스에 포함하기 위한 BS 데이터

NR 대역	사용	주파수	Sens [dBm]	Sens [dBμV/m]	보호비 [dB]	이격 거리 [m]	이득 [dBi]
n1	WA MR LA	1920 to 1980	-108 -103 -100	18 31 38	11.8	35 5 2	17 9 5
n2	WA MR LA	1850 to 1910	-108 -103 -100	18 31 38	11.8	35 5 2	17 9 5
n3	WA MR LA	1710 to 1785	-108 -103 -100	17 30 37	11.8	35 5 2	17 9 5
n7	WA MR LA	2500 to 2570	-108 -103 -100	20 33 40	11.8	35 5 2	17 9 5
n25	WA MR LA	1850 to 1915	-108 -103 -100	18 31 38	11.8	35 5 2	17 9 5
n30	WA MR LA	2305 to 2315	-108 -103 -100	19 32 39	11.8	35 5 2	17 9 5
n34	WA MR LA	2010 to 2025	-108 -103 -100	18 31 38	11.8	35 5 2	17 9 5
n38	WA MR LA	2570 to 2620	-108 -103 -100	20 33 40	11.8	35 5 2	17 9 5
n39	WA MR LA	1880 to 1920	-108 -103 -100	18 31 38	11.8	35 5 2	17 9 5

NR 대역	사용	주파수	Sens [dBm]	Sens [dBμV/m]	보호비 [dB]	이격 거리 [m]	이득 [dBi]
n40	WA MR LA	2300 to 2400	-108 -103 -100	20 33 40	11.8	35 5 2	17 9 5
n41	WA MR LA	2496 to 2690	-108 -103 -100	20 33 40	11.7	35 5 2	17 9 5
n48	WA MR LA	3550 to 3700	-108 -103 -100	23 36 43	11.7	35 5 2	17 9 5
n50	WA MR LA	1432 to 1517	-108 -103 -100	16 29 36	11.7	35 5 2	17 9 5
n51	WA MR LA	1427 to 1432	-108 -103 -100	15 28 35	6.8	35 5 2	17 9 5
n65	WA MR LA	1920 to 2010	-108 -103 -100	18 31 38	11.7	35 5 2	17 9 5
n66	WA MR LA	1710 to 1780	-108 -103 -100	17 30 37	11.7	35 5 2	17 9 5
n70	WA MR LA	1695 to 1710	-108 -103 -100	17 30 37	11.7	35 5 2	17 9 5
n74	WA MR LA	1427 to 1470	-108 -103 -100	15 28 35	11.7	35 5 2	17 9 5
n77	WA MR LA	3300 to 4200	-108 -103 -100	24 37 44	11.7	35 5 2	17 9 5
n78	WA MR LA	3300 to 3800	-108 -103 -100	23 36 43	11.7	35 5 2	17 9 5
n79	WA MR LA	4400 to 5000	-108 -103 -100	26 39 46	8.6	35 5 2	17 9 5
n80	WA MR LA	1710 to 1785	-108 -103 -100	17 30 37	11.7	35 5 2	17 9 5
n84	WA MR LA	1920 to 1980	-108 -103 -100	18 31 38	11.7	35 5 2	17 9 5

NR 대역	사용	주파수	Sens [dBm]	Sens [dBμV/m]	보호비 [dB]	이격 거리 [m]	이득 [dBi]
n86	WA MR LA	1710 to 1780	-108	17	11.7	35	17
			-103	30		5	9
			-100	37		2	5

3.2. FR1 대역 사용자 장비에 대해 허용기준 관련 파라미터

FR1의 지정된 NR 대역에서 기지국에 대한 결과 감도와 허용 가능한 전기장 강도는 (표 6-2)에 나와 있다. 전력 레벨은 이미 등가 등방성 감도(equivalent isotropic sensitivity) EIS로 제공되며 0 dBi의 이득이 전기장 강도 계산에 사용된다.

3.3. FR2 대역 기지국에 대해 허용기준 관련 파라미터

FR2의 지정된 NR 대역에서 기지국에 대한 결과 감도와 허용 가능한 전기장 강도는 (표 6-3)에 나와 있다. 전기장 강도 계산을 위해 등방성 수신기가 가정된다.

〈표 6-2〉 FR1의 IEC 무선 서비스 데이터베이스에 포함하기 위한 UE 데이터

NR 대역	주파수 [GHz]	Sens [dBm]	Sens [dBμV/m]	보호비 [dB]	이격 거리 [m]
n1	1.920 ~ 1.980	-109.6	33	24.6	1
n2	1.850 ~ 1.910	-107.6	35	24.6	1
n3	1.710 ~ 1.785	-106.6	35	25.3	1
n7	2.500 ~ 2.570	-107.6	38	25.3	1
n25	1.850 ~ 1.915	-103.4	39	25.3	1
n30	2.305 ~ 2.315	-105.5	39	24.6	1
n34	2.010 ~ 2.025	-109.6	34	24.6	1
n38	2.570 ~ 2.620	-109.6	36	25.3	1
n39	1.880 ~ 1.920	-109.6	33	25.3	1
n40	2.300 ~ 2.400	-109.6	35	25.3	1
n41	2.496 ~ 2.690	-109.6	38	25.3	1
n48	3.550 ~ 3.700	-108.1	40	25.3	1
n50	1.432 ~ 1.517	-106.9	34	25.3	1
n51	1.427 ~ 1.432	-106.5	34	25.3	1
n65	1.920 ~ 2.010	-106.4	37	24.6	1
n66	1.710 ~ 1.780	-109.1	33	24.6	1
n70	1.695 ~ 1.710	-109.6	32	24.6	1
n74	1.427 ~ 1.470	-106.4	34	24.6	1
n77	3.300 ~ 4.200	-107.6	41	25.3	1
n78	3.300 ~ 3.800	-108.1	40	25.3	1
n79	4.400 ~ 5.000	-107.8	43	25.3	1

〈표 6-3〉 FR2의 IEC 무선 서비스 데이터베이스에 포함하기 위한 BS 데이터

NR 대역	사용	주파수 [GHz]	Sens [dBm]	Sens [dBμV/m]	보호비 [dB]	이격 거리 [m]
n257	WA MR LA	26.5 ~ 29.5	-136.5 -131.6 -126.6	30 34 39	16	35 5 2
N258	WA MR LA	24.25 ~ 27.5	-136.5 -131.6 -126.6	29 33 38	16	35 5 2
260	WA MR LA	37.0 ~ 40.0	-136.5 -131.6 -126.6	33 37 42	16	35 5 2
261	WA MR LA	27.5 ~ 28.35	-136.5 -131.6 -126.6	30 34 39	16	35 5 2

3.4. FR2 대역 사용자 장비에 대해 허용기준 관련 파라미터

기준 감도는 1 MHz의 측정 대역폭으로 조정되어야 한다. 그 결과 원래 정의된 모든 대역폭에 대해 동일한 EIS 값이 생성된다. (표 6-4)는 FR2에서 UE의 민감도와 보호율을 요약한 것이다.

▶ 제4절 1 GHz 이상의 모델에 대한 확률 계수 결정

4.1. 6 GHz 이상에서 확률 인자에 대한 일반적인 고려

파장이 발생원 크기보다 짧으면 방해 발생원으로부터의 방사 방향성이 복잡해진다. 따라서 방향성은 결정론적 표현으로 설명될 수 없고 통계적 분포의 형태로만 설명될 수 있다. 독일 5G Lab (www.5glab.de)에서는 점 발생원이 무작위로 균일하게 분포된 구형 표면의 방사선 패턴에 대한 수치 연구가 수행되었다. 파장이 발생원 크기보다

〈표 6-4〉 FR2의 IEC 무선 서비스 데이터베이스에 포함하기 위한 UE 데이터

NR 대역	주파수 [GHz]	Sens [dBm]	Sens [dBμV/m]	보호비 [dB]	이격 거리 [m]
n257	26.5 ~ 29.5	-114.3	52	19	1
n258	24.25 ~ 27.5	-114.3	51	19	1
n260	37.0 ~ 40.0	-114.3	58	19	1
n261	27.5 ~ 28.35	-114.3	52	19	1

짧을 때 단순한 지수 분포로 방향성 분포를 잘 근사할 수 있다는 결론이 나왔다.

방해 모델링 고려사항의 경우, NRS(new radio system) 환경에서 잠재적 방해 발생원의 밀도를 고려할 필요가 있다. 발생원 밀도가 기존 간섭 시나리오에서 발견되는 것보다 훨씬 높기 때문에 사용자 단말기의 보호 거리도 짧아질 것이다. 참고로 NRS는 센서 네트워크, 가정 의료, 원격 의료, 차량 대 차량, 산업용 등과 같은 휴대 전화 이외의 광범위한 사용 사례를 제공할 것이다. 이는 매우 다양한 간섭 시나리오와 관련 파라미터가 있을 것임을 의미한다.

4.2. NRS 보호거리 고려사항

본 방법에서는 균일하게 분포된 방해 발생원과 피해대상 수신기를 사용하여 2차원 모델을 가정한다. NRS 모델링에 적합한 보호거리 값을 결정하려면 주거 환경에서 방해 발생원에서 피해대상 수신기까지의 일반적인 평균 거리를 추정해야 한다. 본 방법에서는 보호 거리 d 는 1 m로 선택되었다.

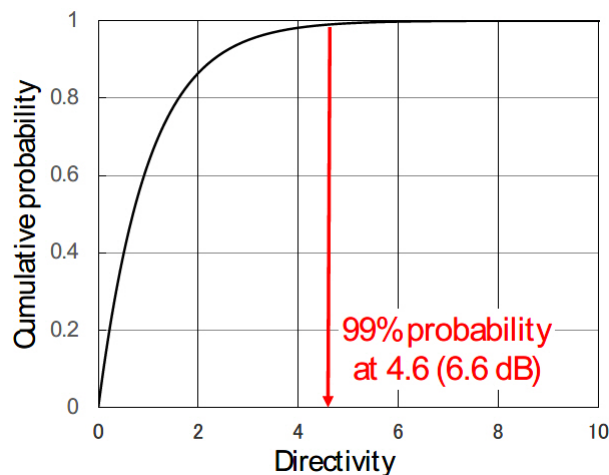
일반적인 고주파 모델을 만들기 위해 “ $\pi d^2 \rho$ ”로

정의된 정규화된 무차원 파라미터가 도입되었다. 여기서 d 는 보호 거리이고 ρ 는 발생원 밀도를 나타낸다. 정규화된 발생원 개수는 주거 환경에서 대지 면적의 평균 면적당 방해 발생원의 수를 나타낸다. 전형적인 가정 상황, 개방형 평면 사무실 상황 등을 나타내기 위해 100 m² 당 10개의 발생원 장치가 선택되었다.

최악의 경우 허용기준은 보호 거리에서 보호 비율(데시벨)로 감소된 최소 가용 신호 강도에 의해 정의된다. 측정 거리 r_{meas} 가 보호 거리 d 와 다를 경우 $20X \log(d/r_{meas})$ 의 보정이 허용기준 값에 적용된다. 여기서 X 는 전파 계수이다.

4.3. 피해 수신기 방향을 가리키는 방해 전자기장 강도의 주빔의 예상 값에 대한 고려 사항(μ_{PI})

구에서 무작위로 분포된 점 발생원의 방향성을 수치적으로 분석한 결과, 방향성의 누적분포는 다음과 같은 경험적 지수분포에 의해 잘 근사화된 것으로 나타났다.



[그림 6-1] 구에서 무작위로 분포된 점 발생원의 절대 방향성에 대한 지수 분포 식(2)의 누적 확률

$$\text{Prob}(g < g_0) = 1 - \exp(-g_0) \quad (2)$$

최대 지향성이 99% 확률의 값이라고 가정하면, 위 식을 사용하면 모델에서 사용할 수 있는 최대 지향성이 (그림 6-1)에서와 같이 6.6 dB가 된다.

4.4. 주파수 상관관계에 대한 고려사항($1/p_5$)

4.4.1. 신호 대역폭 추정

이전 절에서 볼 수 있듯이 NRS의 대역폭은 일반적으로 1GHz 이상의 EMI 측정에 대해 지정된 1MHz RBW보다 훨씬 넓다. 그러나 하나의 UE에 대해 실제로 사용되는 신호 대역폭 B_s 는 반드시 전체 대역폭이 아니라 일반적으로 더 좁다. 대역폭의 대략적인 추정은 링크 용량의 표현을 사용하여 가능하다. 백색 가우스 채널에서 주어진 대역폭 $B(\text{Hz})$ 와 S/N(선형 스케일)으로 달성할 수 있는 최대 비트 레이트(bit rate) R 은 다음과 같이 주어진다.

$$R \leq B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) = \frac{B \cdot 10 \log_{10} \left(1 + \frac{S}{N} \right)}{10 \log_{10}(2)} \quad (3)$$

위와 같은 최대 성능을 제공하는 실제 NRS는 없지만, NRS는 상한에 가까운 성능을 달성하도록 설계되었다. 식에 따르면, $R(\text{bps})$ 을 전송하는 데 필요한 최소 대역폭은 다음과 같다

$$B_{\min} \cong 3R/\text{SNR}(\text{dB}) \text{ for } \text{SNR} \gg 0 \text{ dB} \quad (4)$$

예를 들어, 일반적인 $\text{SNR}=20 \text{ dB}$ 부근에서, B_{\min} 은 약 0.15 R이다. NRS는 매우 다양한 전송 속도를 지원하기 때문에, 필요한 대역폭은 사용자의 요구에 따라 몇 배의 크기로 달라진다. 음성 통신, 링크 제어, 간단한 웹 페이지 검색 또는 간단한 문자 파일 다운로드의 경우 대역폭은 1 MHz 미만이다. 이와는 대조적으로 큰 파일을 다운로드할 때, R 은 수백 Mbps가 될 것이고, 신호 대역폭은 1 MHz보다 훨씬

더 넓어질 것이다.

또한 육상 이동 통신을 위한 NRS는 일반적으로 OFDM과 같은 다중 반송파 변조 방식과 주파수 선택적 전파 특성을 사용하는 주파수/심볼 인터리빙(주파수/시간 슬롯 할당 무작위화)을 사용한다. 게다가, 특정 UE에 할당된 주파수 슬롯들은 동적으로 제어된다. 따라서 실제 신호 대역폭 B_s 는 단일 연속 스펙트럼의 대역폭이 아닌 동적으로 할당된 주파수 슬롯의 평균 합으로 간주된다.

4.4.2. 주파수 일치 확률 인자 추정

1 MHz보다 넓은 신호 대역폭 B_s 에 대한 확률 인자를 평가하려면 3절의 표에 나열된 원하는 신호 강도, $E_{w,1 \text{ MHz}}$ 가 1 MHz 정규화 값이라는 점에 유의해야 한다. 1 MHz 대역폭을 갖는 최악의 경우 허용기준 $E_{w,1 \text{ MHz}}$ 이 모든 전송 모드에 대한 값들 중 최대치로 선택된 보호비만큼 감소된 $E_{w,1 \text{ MHz}}$ 로 주어질 때, 허용기준은 1 MHz보다 넓은 대역폭 B_s 를 갖는 원하는 신호의 보호에도 효과적이다.

전체 신호 대역 내의 최소 신호 강도는 dB 단위의 $E_{w,1 \text{ MHz}} + 10 \log(B_s(\text{MHz}))$ 로 제공된다. 신호 대역폭 B_s 내에 존재하는 방해의 최대 허용 강도는 방해가 평평한 스펙트럼으로 신호 대역을 완전히 점유할 때 $E_{w,1 \text{ MHz}} + 10 \log(B_s(\text{MHz}))$ 로도 주어진다. 방해는 신호 대역폭 내의 임의의 주파수에서 RBW 1 MHz로 측정된 방해 강도가 $E_{w,1 \text{ MHz}}$ 와 동일하더라도 대역폭 B_s 로 원하는 신호에 대한 보호 조건을 충족한다. 그러나 방해 스펙트럼이 반드시 신호 대역을 완전히 차지하는 것은 아니며, 이는 주파수 일치의 확률 인자로 간주될 수 있다.

광대역 사례에 대한 주파수 일치 확률 추정을 위해 방해 스펙트럼에 의한 점유 비율이 P_s 로 표시된다고 가정한다. 즉, P_s 는 임의로 선택한 1 MHz 대역폭 내에서 방해를 찾을 수 있는 확률이다. 완전 점유의

경우, $P_5=1$ 이다. 주파수 슬롯이 NRS에서 동적으로 할당된다는 점을 고려하면, 방해로 점유된 주파수 슬롯의 수는 이항 분포를 따르는 임의의 변수로 표현될 수 있다. 정보를 전달하는 주파수 슬롯의 총 수가 N_e 일 때, N_e 슬롯이 방해에 의해 간섭될 확률은 다음과 같이 표현된다.

$$\text{Prob}(N_e) = C(N_e, N_e) P_5^{N_e} (1-P_5)^{N_e - N_e} \quad (5)$$

$C(X, Y)$ 는 X 중에서 Y 를 선택하기 위한 조합의 수를 나타낸다. 이 분포의 평균 값은 $N_e P_5$ 이고 표준 편차는 $(N_e P_5 (1-P_5))^{1/2}$ 이다. 점유비 N_e/N_s 로 환산하면, 평균치는 P_5 이고, 표준편차는 $(N_s P_5 (1-P_5))^{1/2}$ 이다. 광대역통신 모드를 동작시키기 위한 슬롯의 수를 증가시킴으로써 점유율의 표준편차가 감소함을 알 수 있다. 따라서 점유율은 P_5 의 결정론적 값이며 광대역통신 모드의 경우 표준편차가 사실상 0으로 추정된다.

링크 용량의 표현을 이용하여 방해의 부분 점유가 완화 가능량 μ_{P_5} 에 미치는 영향을 추정한다. 평평한 스펙트럼을 갖는 방해가 최악의 경우 허용기준을 만족하는 간섭 전력, 즉 $I = SR_p$ 로 신호 대역폭 B_s 를 완전히 점유한다고 가정하자. 여기서 S 는 신호 전력이고 R_p 는 보호 비율을 나타낸다. 가우스 노이즈와 같은 방해의 경우, 완전 점유의 경우 링크 용량은 다음과 같다.

$$R_{\max, full} = B_s \log_2 \left(1 + \frac{S}{N+I} \right) = \frac{B_s * 10 \log_{10} \left(1 + \frac{S}{N+I} \right)}{10 \log_{10}(2)}, \quad I = SR_p \quad (6)$$

위 수식은 가우스 (유사한) 노이즈에 유효하지만, 수십 kHz의 좁은 부채널 대역폭 내에서 많은 경우 방해는 거의 가우스 특성을 나타낸다. 이러한 예로 부채널 대역폭보다 높은 반복 주파수를 가진 펄스열, 반송파와 주파수 지터를 갖는 고조파 성분 등이 있다.

그런 다음, 방해가 증가된 전력 $I^* m P_5$ 를 가지지만

부분적으로 P_5 점유율로 신호 스펙트럼을 방해한다고 가정한다. m_{P_5} 는 μ_{P_5} (dB)의 선형 변환이다. 신호 스펙트럼 $(1-P_5)B_s$ 의 나머지 부분은 간섭이 없는 것으로 가정한다. 이 경우 최대 속도는 다음과 같다.

$$R_{\max, part} = P_5 B_s \log_2 \left(1 + \frac{S}{N + I m_{P_5}} \right) + (1-P_5) B_s \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (7)$$

무선 보호를 위한 조건은 부분적으로 점유된 경우의 총 링크 용량을 완전히 점유된 경우의 용량과 동일하게 유지하는 것으로 가정한다. 즉, $R_{\max, part} \geq$ 와 $R_{\max, full}$ 을 다음과 같이 동일하게 한다.

$$B_s \log_2 \left(1 + \frac{S}{N+I} \right) = P_5 B_s \log_2 \left(1 + \frac{S}{N + I m_{P_5}} \right) + (1-P_5) B_s \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (8)$$

SINR이 충분히 클 때 조건은 다음과 같이 근사된다.

$$B_s \log_2 \left(\frac{S}{N+I} \right) = P_5 B_s \log_2 \left(\frac{S}{N + I m_{P_5}} \right) + (1-P_5) B_s \log_2 \left(\frac{S}{N} \right) \quad (9)$$

일부 조작을 통해 조건은 다음과 같이 단순화된다.

$$\log_2 \left(1 + \frac{I}{N} \right) = P_5 \log_2 \left(1 + \frac{I m_{P_5}}{N} \right) \quad (10)$$

I/N 이 1보다 작을 때, 상기 조건을 만족하는 $m P_5$ 의 근사치는 $1/P_5$, 즉 광대역 전송 모드의 경우 $\mu_{P_5} \cong -10 \log_{10}(P_5)$ (dB)이며, 이는 신호 대역폭에서의 총 방해 전력이 완전히 점유된 경우와 동일함을 의미한다.

반면, 저속 및 협대역 전송 모드의 경우, 방해 스펙트럼에 의한 점유는 이진법에 접근한다. 즉, P_5 확률의 점유 또는 $1-P_5$ 확률의 간섭이 없는 점유에 접근한다. 이 경우 확률 P_5 는 방해 발생원의 숨어 내기 인자(thinning factor)로 간주할 수 있다. 확률 인자는 수신 안테나 빔 P_2 의 일치 확률과 유사한 방법으로 평가할 수 있다.

방해 스펙트럼에 시스템 클럭의 다중 고조파가 포함되어 있고 주파수 일치 확률 $P_f=0.1$ 이 있다고 가정하면, 확률 인자는 광대역 모드의 경우 $\mu_{P5} = 10$ dB와 $\mu_{P5} = 0$ dB로 추정되며, 협대역 모드의 경우 $\mu_{P5} = 8.8$ dB, $\mu_{P5} = 3.08$ dB로 추정된다.

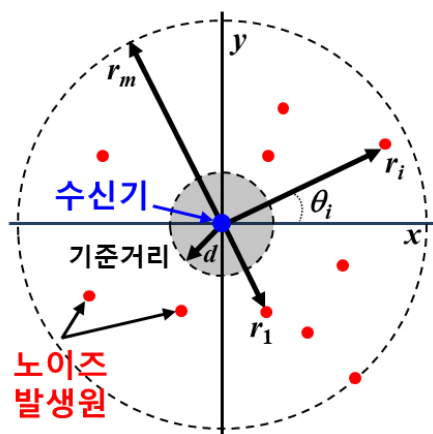
4.5. 확률인자 μ_{P1} , μ_{P2} , μ_{P5} , μ_{P6} 의 조합에 대한 고려사항

전자파 발생원은 (그림 6-2)에서와 같이 보호 거리와 동일한 내부반경 d 와 환의 중심에 있는 피해대상에 대한 기여가 없을 것으로 예상되는 외부반경 r_m 을 가진 환형 영역 내에 무작위로 분포한다고 가정한다.

주어진 밀도에 대해 환의 발생원 개수는 고정되어 있다. 각 발생원은 주어진 전파 계수 X 를 갖는 방해 전력에 대한 경로 감쇠를 계산할 수 있도록 피해 대상으로부터 거리를 갖는다.

$$Att(r_i) = \left(\frac{r_i}{d}\right)^{-2X} \quad (11)$$

또한, 각 발생원은 4.1.절에 설명된 대로 최대 지향성을 가지며 6.6 dB로 고정된 안테나 패턴을



[그림 6-2] 간섭 모델의 기하학적 구조

갖는다. 그러나 발생원이 반드시 시나리오의 중심을 가리킬 필요는 없지만 독립적인 임의의 방향을 가질 수 있다. 피해대상에 대해 가장 작은 감쇠를 갖는 발생원을 검출하면서 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하여 (그림 6-3)에 표시된 전형적인 확률 밀도 프로파일을 도출했다.

표준회의 문서(22-09_CISH_AHG9 Probability factors in limit setting model)의 부속서 A의 상세 분석은 기본 확률 밀도 함수(PDF)가 다음과 같이 분석적으로 작성될 수 있음을 보여준다.

$$PDF_U(U) = \frac{\pi d^2 \rho}{E} \left(1 + \frac{1}{K(U)}\right) \exp \left(-K(U) \exp \left(-\frac{\pi d^2 \rho}{K(U)} \exp(-K(U)) \right) \right) \quad (12)$$

$$K(U) \equiv \exp \left(\frac{U - G}{E} \right) = g_{\max} u_0^2, \\ E \equiv 10 \log_{10}(e) \cong 4.34 \text{ (dB)}, \text{ and} \quad (13) \\ G \equiv 10 \log_{10} \left(\frac{1}{g_{\max}} \right)$$

(그림 6-3)에서 몬테카를로 결과 주변의 입체 곡선으로 묘사된 프로파일로 보인다.

프로파일에는 가우스와 같은 분포가 있으므로 표준회의 문서(22-09_CISH_AHG9 Probability factors in limit setting model)에 주어진 모멘트 적분을 PDF 함수에 적용하여 각 곡선을 평균 및 표준 편차로 설명할 수 있다.

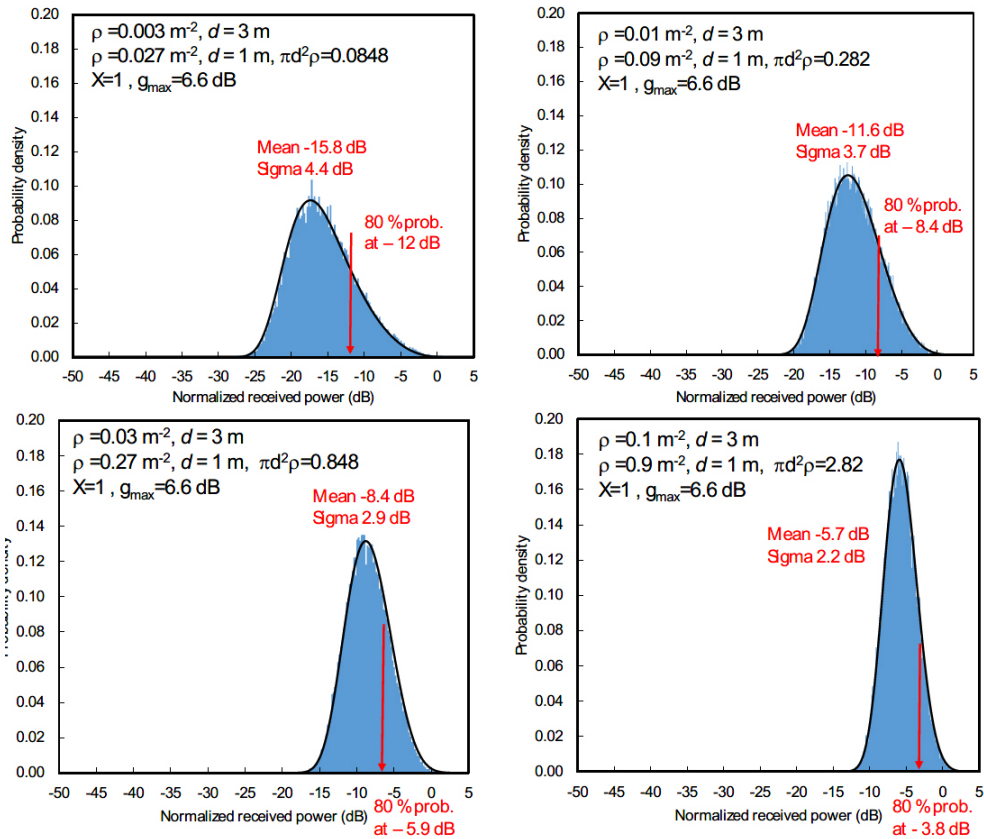
$$\mu = - \int_{-\infty}^{\infty} U \cdot PDF(U) dU \quad (14)$$

$$\sigma = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} U^2 \cdot PDF(U) dU - \left(\int_{-\infty}^{\infty} U \cdot PDF(U) dU \right)^2} \quad (15)$$

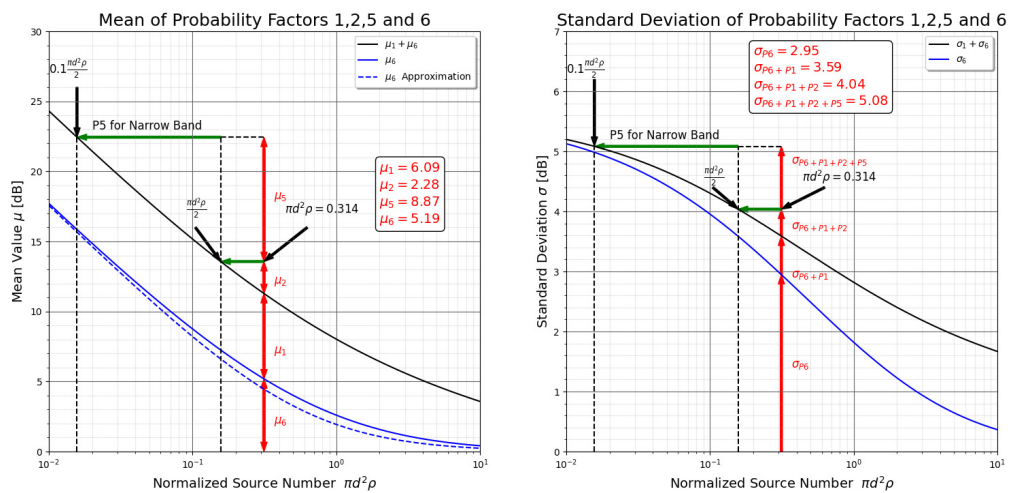
이러한 절차 후에 모든 정규화된 발생원 개수 입력은 일련의 μ 와 σ 를 생성한다. 이득을 고려하지 않을 때 PDF는 다음과 같이 설명할 수 있다.

$$PDF_U(U) = \begin{cases} \frac{\pi d^2 \rho}{EX} \exp \left(\frac{-U}{EX} \right) \exp \left(-\pi d^2 \rho \exp \left(\frac{-U}{EX} \right) \right) \exp(\pi d^2 \rho) & (U < 0) \\ 0 & (U \geq 0) \end{cases} \quad (16)$$

이는 (그림 6-4)에 표시된 곡선으로 이어진다.



[그림 6-3] 다양한 발생원 밀도 값 ρ 의 최대 방해 전자기장 강도에 대한 계산 및 시뮬레이션된 확률 밀도 프로파일



[그림 6-4] μ 및 σ 대 정규화된 발생원 개수

1 m의 보호 거리와 100제곱미터당 10단위의 발생원 밀도를 사용하여 확률 인자 1, 2, 5, 6에 대한 부품과 함께 0.314의 정규화된 발생원 개수를 직접 찾는다. 수신기 지향성의 경우 일반적인 사용 사례에서 휴대용 NRS 장치가 방해 발생원의 약 절반까지 기하학적으로 차단되어 그래프로 들어가 μ_{P2} 에 대한 추정치를 얻을 수 있다고 가정한다. 표준편차 σ_{P2} 는 σ_{P6} , σ_{P1} 및 σ_{P2} 의 근합제곱이 그래프에 나타난 $\sigma_{P6+P1+P2}$ 와 동일하도록 $\sqrt{\sigma_{P6+P1+P2}^2 - \sigma_{P6+P1}^2}$ 로 구한다. 마찬가지로 $P_5 = 0.1$ 의 경우 협대역 통신 모드에서의 확률 계수 μ_{P5} 와 σ_{P5} 가 추정된다. 표준편차 σ_{P5} 는 $\sigma_{P6+P1+P2+P5}^2 - \sigma_{P6+P1+P2}^2$ 에 의해 구해진다. 광대역 모드의 경우, 4.4절에서 언급한 바와 같이 $\mu_{P5} = 10 \log(P_5) = 10 \text{ dB}$ 및 $\sigma_{P5} = 0 \text{ dB}$ 이다.

4.6. 방해로부터 멀어질 때의 고려사항(μ_{P3})

주파수 관리의 관점에서 현대의 모바일 무선 서비스는 컴퓨터로 제어된다. 즉, 신호 대 잡음비 또는 다른 품질 파라미터(BER)가 감소하면 모니터링 컴퓨터가 주파수 채널을 변경한다. 모바일 무선 서비스에 대한 간섭은 주파수 채널에 대한 수요를 증가시킬 것이다. 모바일 서비스의 사용자는 간섭에 반응할 기회가 없다. 따라서 주파수 관리 측면에서는 μ_{P3} 에 대해 0 dB가 필요하다.

4.7. 허용기준에 대한 여유에 대한 고려사항(μ_{P4})

EUT의 최대 방출량이 CISPR TR 16-4-4 ED2.2에 설명된 것처럼 1 GHz 이상의 주파수에 대해 모델에 포함된 허용기준보다 작거나 같다고 간주한다.

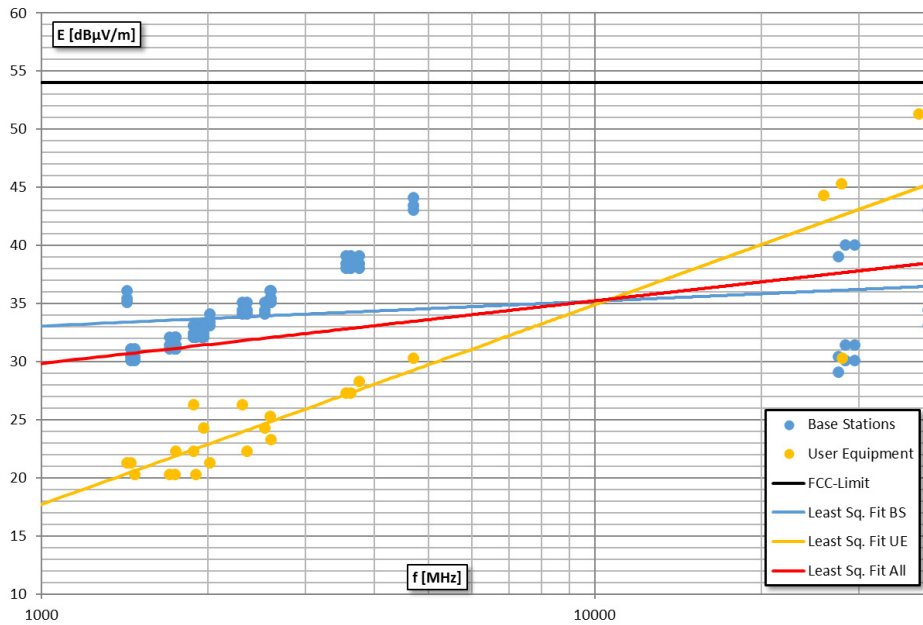
4.8. 추가 감쇠에 대한 고려사항(μ_{P4})

추가 감쇠의 한 부분으로 벽 또는 건물 감쇠를 고려할 수 있다. 이 부속서에서 고려하는 유일한 무선 응용은 5G이다. 일부 5G 기지국은 건물 외부에, 다른 기지국은 건물 내부에 탑재된다. 사용자 장비는 건물 내부와 외부 모두에서 사용되며 제대로 작동할 것으로 예상된다. 따라서 일반적인 경우에 벽과 관련된 추가적인 감쇠는 UE와 BS가 간섭원이 될 수 있는 것처럼 건물 벽의 동일한 측면에 있을 수 있기 때문에 0dB로 설정해야 한다. 따라서 무선 장비는 건물 벽 감쇠의 결과로 방해 발생원으로부터 추가적인 보호를 받지 못한다.

▶ 제5절 허용기준 제안

CISPR TR 16-4-4 5.7(1 GHz 이상의 주파수 범위에서 CISPR 허용기준 결정에 대한 이론적 근거)과 식 (1)에 의해서 설명된 모델을 사용하여 각 NR 주파수 범위와 FR1과 FR2에서의 각 사용 유형에 대해 전기장 강도 값을 계산할 수 있다. 이러한 결과 값은 (그림 6-5)에 나와 있다.

제시된 데이터에 대한 최소 자승 최적화(least square fit optimization)를 사용하여 (그림 5)의 허용기준 선들이 구해졌다. 이와 같이 도출된 결과를 바탕으로 6 GHz ~ 40 GHz 주파수 범위에서 CISPR 허용기준에 대한 합리적인 제안이 (표 6-5)에 나와 있다.



[그림 6-5] 개정된 허용기준 산정 모델과 파라미터에 따른 허용기준 계산 결과

〈표 6-5〉 6 GHz ~ 40 GHz 주파수범위에서 유도된 허용기준

주파수 대역 [GHz]	측정 시설	거리 [m]	검출기 유형/대역폭	주거환경 허용기준 [dB(V/m)]
6 ~ 40	FSOATS/FAR	3	Average / 1 MHz	34 ~ 38.5* (추후 결정 예정)
6 ~ 40	FSOATS/FAR	3	Peak / 1 MHz	54 ~ 58.5* (추후 결정 예정)

* rising with the logarithm of frequency

제7장

CISPR 32(멀티미디어 전자파 적합성-방출 요구 사항) Ed3.0 표준화 동향

김근술 책임
(한국로봇산업진흥원)

제1절 소위원회 개요
제2절 CISPR 32 Ed.3.0 표준화 동향

▶ 제1절 소위원회 개요

CISPR I는 정보기기, 멀티미디어, 수신기의 전자파 적합성 평가(Electromagnetic compatibility of information technology equipment, multimedia equipment and receivers) 소위원회로 정보기기, 방송수신기, 멀티미디어기기에 대한 전자파적합성을 책임지고 있는 IEC CISPR 산하 위원회이다.

주요 업무는 정보기기, 방송수신기, 멀티미디어 기기의 간섭 및 내성에 대한 측정방법과 기준에 대한 표준 제·개정, 측정방법과 기준의 확립을 위한 가이드에 관한 작업들이다.

CISPR I 소위원회의 구성과 주요 임무는 다음과 같다.

CISPR I 의장은 미국의 Mr Ghery St John Pettit, 간사는 일본의 Mr. Kazuyuki Hori, 보조간사는 일본의 Fujio Amemiya가 담당하고 있으며, MT 7 의장은 영국의 Mr. Trevor Morsman, MT 8 의장은 영국의 Mr. John H. Davies가 담당하고 있다.

그리고 CISPR I의 표준화에 대응하는 한국의 EMC 기준전문위원회 I 소위원회는 씨티케이 홍장희 의장을 비롯하여 에이아이스마트광용복합협동조합, 삼성전자, 한국산업기술시험원, 비브이 씨피에스 에이디티 코리아, 엔트리연구원, 엘지전자, 지씨에이 코리아, 케이씨에스에스, 한국전자통신연구원, 한국 로봇산업진흥원, 에이치씨티, 고려대학교, 상명대학교, 유로핀즈 케이씨티엘, 한국기계전기전자시험연구원, 유엘코리아, 피앤이, 한국정보통신기술협회, 국립

〈표 7-1〉 CISPR I 소위원회(Subcommittee) 구성

구분	역할
MT 7	멀티미디어기기 EMI 표준 개정 (CISPR 32)
MT 8	멀티미디어기기 내성 표준 개정 (CISPR 35)
JTF A/I	CIS/I 측정방법에 대한 기본 측정방법 추가
JAHG 6	EUT 케이블 배치 및 케이블 단말 (CIS/A)
AHG 10	Robot EMC(로봇 전자파적합성)

〈표 7-2〉 CISPR SC I에서 진행중인 프로젝트

번호	프로젝트 번호	과제명
1	CISPR 32 Ed3	멀티미디어 기기 전자파 방출 시험방법 개정
2	CISPR 35 Ed2	멀티미디어 기기 전자파 내성 시험방법 개정

전파연구원, 한국전파진흥협회 등 20명이 활동하고 있다.

CISPR I 분과에서 현재 진행하는 프로젝트는 표 7-2와 같다.

제2절 CISPR 32 Ed.3.0 표준화 동향

CISPR I 소위원회는 2023년 MT 7 마드리드 회의를 진행하는 등 오프라인 및 온라인 회의를 진행했으며 CISPR 32 Ed.3.0 발간을 위해서 노력하였다.

CISPR 32 Ed.3.0에서는 MME with radio function(s), Highest internal frequency, WPT, RVC, VHF LISN 적용을 비롯한 다양한 제안이 있었으며 우리나라를 비롯한 미국, 일본, 유럽, 등 18개국 전문가들이 참석하여 논의를 진행하였다. 논의를 바탕으로 CISPR Ed.3.0 Draft 0.3 버전이 완성되었으며 이를 바탕으로 논의할 예정이다. (2023년 12월 20일 온라인 회의 예정)

1. IEC CISPR SC I MT 회의

가. 일정 및 장소

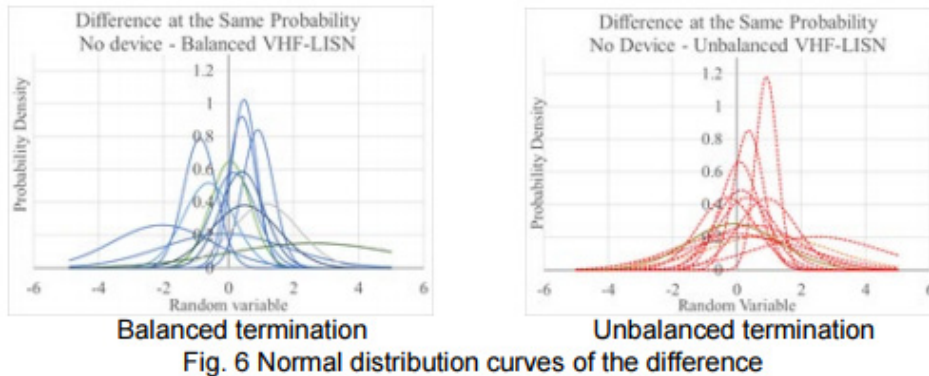
- '23. 6. 25.(월) ~ 6. 30.(금), Madrid, Spain (CISCO Madrid)

나. 참석현황

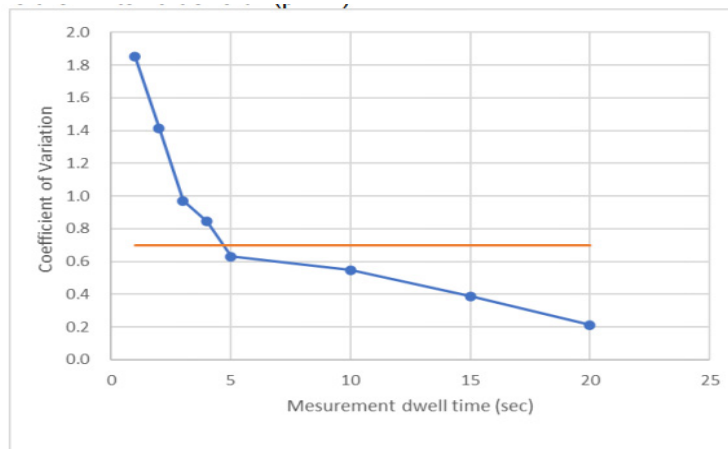
- 한국(1), 미국(4), 독일(4), 일본(7), 벨기에(1), 영국(3), 이탈리아(1) 등 총 20명

다. 주요내용

- 1) CISPR IMT 7 마드리드 회의는 '22년 샌프란시스코 회의 이후 개최되는 회의로 CISPR 32 Ed 3.0 CDV 발간을 위한 추가 토의가 필요한 Comment를 리뷰 및 추가적인 논의가 필요한 다음의 주요 이슈에 대한 토의
 - VHF LISN 적용을 위한 논의
 - Round Robin Test로 JAHG6에 의해 진행
 - VHF LISN은 balanced와 unbalanced로 구분되지만 balanced VHF LISN로 시험하는 것이 안정적이라는 시험결과로 balanced VHF LISN로 합의
- 2) APD(Amplitude Probability Distribution) sample measurement data focused measurement dwell time 논의
 - APD 측정은 CISPR/I/655/CD에 제안
 - MME 제품으로 직접 시험했던 결과를 공유했는데 시험했던 제품의 경우는 5초가 필요했고 이를 근거로 APD measurement dwell time은 최소 5초가 필요하다고 합의
- 3) WPT Limits에 대한 고찰
 - WPT는 모든 CISPR 분과에서 논의되고 있으며 CISPR 11에서는 전기차 충전기,



[그림 7-1] VHF LISN Balanced, Unbalanced 측정결과



[그림 7-2] APD measurement dwell time 결과

CISPR 14에서는 가정용 전기기기, CISPR 32는 MME 제품에 대한 논의 진행 중

- EBU(유럽 방송 연맹, European Broadcasting Union)에서 수행한 시험 결과는 WPT 기능 제품이 AM 라디오 방송 수신기에 영향을 준다고 하며, EBU는 지금 설정된 레벨이 너무 높다고 판단하고 있음. (우리나라는 무선 전력 전송기기 장애방지 시험방법으로 운영 중이며 추후 CISPR에서 반영된 값으로 국제표준 부합화 예정)

- 미국 APPLE은 AM 방송이 사라지는 추세로 높은 LIMIT 값이나 폐지를 주장하였으나 다른 유럽 국가는 반대함(AM 방송이 완전히 사라지지 않는 이상 반대할 것으로 보임)
- 우리나라는 WPT와 관련된 산업군(삼성, LG 등)이 있음에 따라 국내 제조사 제품의 현황을 파악하여, CISPR32에 수록될 EMI 허용 기준에 대한 대응이 필요
- 다양한 국가 및 단체에서 다양한 LIMIT LINE을 제안하고 있으면 지속적인 논의할

것으로 판단됨 (그림 7-3 참조)

4) 방사 측정에 필요한 최고 주파수 변경

- 108 MHz에서 100 MHz 최고 주파수 변경

5) RVC(ReVeration Chamber) 도입 검토

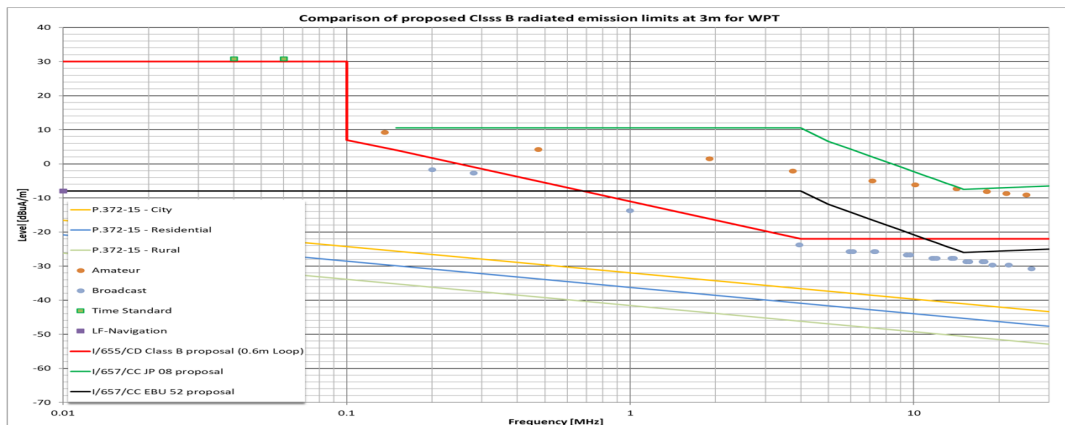
- RVC가 실제 전파환경을 모의하는 등 여러 가지 장점이 있다는 점은 인정되나 변환인자 등 해결해야 할 문제들을 RVC 전문가 참여를 통해 해결하려고 준비 중이고 RVC 전문가 참여하는 TF 구성 예정

- FAR, RVC를 1 ㎞ 이상 주파수 대역에서 규범적(normative) 대응 시험 시설로 사용하기로 함

- 변환 인자 (총 수신 전력 @ RVC 최대 전기장 강도 @ FAR/OATS), 교반기(Stirrer) 회전 속도 변화에 따른 영향 등 RVC에 대한 기술적인 이슈에 대해 CISPR A에 검토 요청

6) CISPR 35 Ed 2.0 개정 사항 검토

- CISPR IMT 8 마드리드 회의는 '22년 샌프란시스코 회의에 취소되어 '22년 10월 온라인회의 이후 처음으로 개최되는 회의로



[그림 7-3] 국가 및 단체별 WPT 30 MHz 이하 허용기준

Table 1 – Required highest frequency for radiated measurement

Highest internal frequency (F_x)	Highest measured frequency
$F_x \leq 100$ MHz $108 \text{ MHz} < F_x \leq 500 \text{ MHz}$ $500 \text{ MHz} < F_x \leq 1 \text{ GHz}$ $F_x > 1 \text{ GHz}$	$1 \text{ GHz} + F_c$ $2 \text{ GHz} + F_c$ $5 \text{ GHz} + F_c$ $(5 \times F_x) + F_c$ up to a maximum of 6 GHz
NOTE 1 For FM and TV broadcast receivers, F_x is determined from the highest frequency generated or used excluding the local oscillator and tuned frequencies. NOTE 2 F_x is defined in 3.1.18. NOTE 3 F_c is the carrier frequency of the highest intentional transmission frequency. Where there is no intentional radio transmitter $F_c = 0$. NOTE 4 For outdoor units of home satellite receiving systems highest measured frequency shall be 18 GHz.	

[그림 7-4] 방사 측정에 필요한 최고 주파수

〈표 7-3〉 RVC에 대한 1 GHz 이상 대역 방사성 방해 허용기준

Table A. 4 – Requirements for radiated emissions at frequencies above 1 GHz for class A equipment

Table clause	Frequency range MHz	Measurement			dB(μV/m)	Class A limits		
		Facility (see table A.1)	Distance m	Detector type / bandwidth		dB(pW)		
						Maximum EUT extent from EUT centre		
						0.1 m	0.75 m	1.5 m
A4.3	1 000 to 6 000	RVC	n/a	Average / 1 MHz	60	51 to 49	49 to 47.5	48 to 47
A4.4	1 000 to 6 000			Peak / 1 MHz	80	71 to 69	69 to 67.5	68 to 67

Apply A4.1 and A4.2 or A4.3 and A4.4 across the frequency range from 1 000 MHz to the highest required frequency of measurement derived from Table 1.

Apply A4.1 and A4.2 or A4.3 and A4.4 across the frequency range from 1 000 MHz to the highest required frequency of measurement derived from Table 1.

Table A. 7 – Requirements for radiated emissions at frequencies above 1 GHz for class B equipment

Table clause	Frequency range MHz	Measurement			dB(μV/m)	Class B limits		
		Facility (see table A.1)	Distance m	Detector type / bandwidth		dB(pW)		
						Maximum EUT extent from EUT centre		
						0,1 m	0,75 m	1,5 m
A7.3	1 000 to 6 000	RVC	n/a	Average / 1 MHz	54	45 to 43	43 to 41,5	42 to 41
A7.4	1 000 to 6 000			Peak / 1 MHz	74	65 to 63	63 to 61,5	62 to 61

CISPR 35 Ed 2.0 CDV 발간을 위한 추가 토의가 필요한 Comment를 리뷰 및 토의
- 새로운 내성 시험 성능 평가 기준안 논의 (Criterion R)

- ① 일반적인 내성 시험 성능 평가 기준에는 A, B, C가 있으나 새로운 Criterion R을 제안했으나 오랜 논의 후에 일반적인 내성 성능 평가 기준에 포함하는 것으로 판단하여 채택되지 않음

- 케이블의 품질이 내성 시험에 영향 고찰

- ① 케이블의 성능에 따라 내성 시험의 결과가 달라질 수 있는 경우가 있어서 케이블의 성능을 제한할 필요하다고 제안
- ② 기본적으로 제조사 제공되는 케이블을 사용하여 시험하고 있거나 시험소 구비 케이블 이용함
- ③ 시험소에서 케이블의 품질을 확인하는 방법이 어렵고 어떤 품질까지 제한해야 할지 모르기 때문에 채택되지 않음

- 장해 시험에는 산업용/가정용 구분하는데 내성 시험도 산업용/가정용 적용 필요 여부 검토

- ① 제조사의 제품 중에 일반 규격과 멀티미디어 규격을 동시 적용이 가능한 경우, 같은 제품이라도 합격되는 상황이 발생할 가능성이 있어 제안됨

- ② CISPR I 그룹에서는 멀티미디어 규격을 채택하는 제품이 명확하고 CISPR 24부터 내려온 오랜 전통이 있어 그대로 유지하기로 결정함

- RS swept 방법으로 기가 대역 추가, RS 4 % step 문제점 논의

- ① MME 규격에서만 1 GHz 이상에서 SPOT test와 RS 4 % step으로 내성 시험을 수행하고 있으나 RS 규격인 IEC 61000-4-3에서는 제공되지 않아 통일 할 필요성이 제기됨
- ② 1 GHz 이상 Swept test는 시험을 수

행하는 시간이 오래 걸려 미국에서는 반대하는 입장이고 다른 국가는 다른 CISPR 분과와 통일을 위해서 Swept test를 제안함

- ③ RS 4 % step의 경우에는 오히려 1 % step보다 Worst case로 판단되어 유지하기로 함

3) Global Navigation Satellite System ports가 MME 관련 Antenna port에 포함되는지 대한 이슈 발생했으며 MME Antenna port가 잘못 이해할 수 있다고 판단하여 MME Antenna port 정의를 새로 하기로 함

라. 기타 토의

1) 로봇 전자파적합성 표준화 개발을 위한 TF 추진

- CISPR/I로 분류되는 대상인 멀티미디어 기기 로봇에 대한 전자파적합성 표준 개발 작업 필요성에 대한 논의 진행
- 멀티미디어 기능 로봇 EMC 표준을 담당하기 위해 새로운 작업반(TF) 구성을 제안
- 산업용 로봇은 CISPR B분과, 자동차용 로봇은 CISPR D분과에서 EMC 표준을 담당하고 있으며, 교육 및 오락용 로봇 등 개인용 서비스 (멀티미디어기능)로봇의 경우 CISPR I에서 담당

2) EUT warm up와 In-situ은 working group leader의 부재로 진행하지 못했으나 추후 회의까지 leader 구성 후 진행 예정

No	Type	Sub-committees	Standards involved	Note
1	Industrial robot	CISB	CISPR 11	work in the assembly line
2	Industrial robot	ADT	CISB	Which works in the industrial environment
3	special robots	Inspection Robot	CISB	CISPR 11
4	special robots	Security robot	CISB	CISPR 11

5	personal service robot	Domestic helper robots	CISPR	CISPR 14-114-2	Domestic helper robots, such as household cleaning robots are already in CISPR 14-1, but immunity requirements are not given in CISPR 14-2. Beyond doubt, it is in the field of CISPR.
6	personal service robot	Education entertainment service robot	CISB	CISPR 32/35	Education entertainment service robot (including a toy of a humanoid) are similar with the Audio & Video products. So, it is suggested it is in the field of CISPR.
7	personal service robot	Old age support service robot	need to be discussed	No standard	Old age support service robot, it usually helps older people to eat or move.
8	personal service robot	Personal transport service robots, such as self-balancing human transporters.	CISD	CISPR 12, 25 & 36	CISPR 25 limits to be determined by the manufacturer

9	personal service robot	Personal safety robot or intelligent housekeeper	CISPR	CISPR 14-114-2	Personal safety robot or intelligent housekeeper is similar to a robot with camera, so that it is suggested to be in the field of CISPR. So, it is suggested it is in the field of CISPR.
10	public service robot	Public service robot	need to be discussed	No standard	All those kinds of robot have been used in the public environment. The CISPR 14-1 & 2 may be used, but the test setup should be determined. So, it is suggested it is in the field of CISPR, or not and needs to be discussed.
11	public service robot	Bank service robot	to be discussed	No standard	
12	public service robot	The service robot	to be discussed	No standard	
13	public service robot	Catering service robot	to be discussed	No standard	
14	personal service robot	Entertainment robot	need to be discussed	No standard	
15	special robots	Flying robot	No standard	No standard	
16	special robots	Power Robot	No standard	No standard	
17	special robots	Military police robot	No	Suggest not to research	
18	special robots	The Medical robot	No	Suggest not to research	

Many robots could not find the fit standards to add the requirements in.

[그림 7-5] 분야별 로봇 분류표

제8장

IEC 61000-4-41(광대역 방사 내성 시험방법) 표준화 동향

금홍식 소장
(이앤알 전자파안전 연구소)

제1절 전자파 방사 내성 표준화 배경과 경과

제2절 주요 표준화 동향 분석

▶ 제1절 전자파 방사 내성 표준화 배경과 경과

전자파 방사 내성 시험은 무선통신 전파가 기기에 간섭을 일으키는 문제를 대처하기 위해 시작되었고, 전기·전자기기의 전자파적합성을 확인하기 위한 필수 수단으로 자리 잡고 있다.

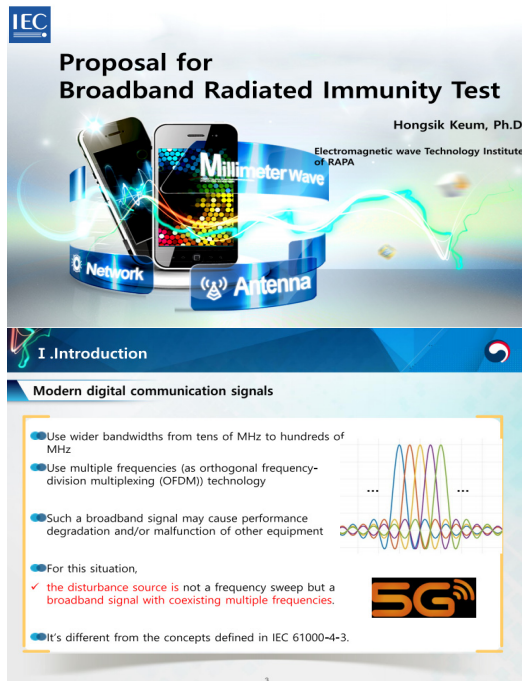
전자파 방사 내성 시험을 위한 시험 신호 특성, 시험 절차 등 여러 기술적 요구 사항이 IEC 61000-4-3 기본표준으로 규정되어 있다. 이 표준은 전자파 방해원으로 무선 신호를 상정하고 있으며, 현재까지 대표적인 아날로그 변조 신호인 진폭변조(amplitude modulation, AM) 신호를 표준 시험 신호로 사용하고 있다.

무선통신 기술이 아날로그 통신에서 디지털 통신으로 발전함에 따라 다양한 디지털 변조 기술이 무선전화, 이동통신, 디지털 방송 등 여러 방송 통신 분야에서 적용되었다. 과거부터 방사 내성 영향은 주로 AM 신호의 시험 레벨에 종속적인 것으로 알려졌으나, 이동통신 송수신 시분할 복신(time division duplex, TDD) 전송 기술이나 3G/4G 이동통신 신호(WCDMA, LTE)의 넓은 주파수 대역을 점유한 광대역 신호가 더 많은 간섭을 일으킨다는 연구 결과도 발표되었다[1]. 한편 방사 내성 표준에서도 변화된 통신환경을 고려하여 디지털

변조 신호를 내성 시험신호로 사용하자는 요구가 있었으나, 여전히 AM 신호가 표준신호로 사용되고 있다. 다만, 유럽 이동통신(GSM)이 시분할 복신(TDD) 방식을 도입하며 촉발된 유선전화 간섭 문제를 다루기 위하여 TDD 프레임 주기를 펄스변조(pulse modulation, PM)로 모사하는 것으로 반영되었었다.

최근 5G 이동통신 기술은 28GHz와 같은 밀리미터파 대역 주파수와 100 MHz 이상의 넓은 신호 대역폭을 적용하는 등 비약적으로 발전하고 있다. 이와 같은 5G 신호는 서비스의 다양성으로 인하여 데이터 통신이 이루어지는 기간에만 신호 스펙트럼이 존재하는 순시성, 여러 단말기의 개별 통신에 의한 스펙트럼의 동적인 변동성, 이러한 통신량의 증가에 따라 광범위한 스펙트럼을 점유하는 특성, 그리고 TDD 전송 방식으로 인한 스펙트럼의 불연속성 등 이전에 고려하지 않았던 많은 과도적인 전파 스펙트럼을 생성하고 있어 특별한 고려가 필요하다.

최근 5G 전파에 의한 지하철 스크린도어(platform screen door, PSD)의 레이저 스캔 센서 오동작 문제가 발생하였고, 서비스가 발전함에 따라 무선 단말기의 밀집도는 지속해서 증가할 것이라 이와 유사한 사례 발생은 필연적으로 더욱 심화할 것이다. 따라서 상황변화에 대처하기 위한 새로운 방식의 내성 평가기술이 요구되며 이러한 요구를 반영하여 광대역



[그림 8-1] 광대역 방사 내성 표준화 제안 및 NP 제안

방사 내성 시험 표준이 개발되고 있다.

일반적인 전자파 내성 표준은 국제전기기술 위원회(IEC) 산하의 77 기술위원회(TC77)에서 표준화되고 있다. TC77은 저주파수 현상을 다루는 77A 분과위원회, 고주파수 현상을 다루는 77B 분과위원회, 고출력 과도현상을 다루는 77C 분과 위원회로 구성되며 산하에 여러 주제별 실무반으로 구성되어 있다. 광대역 방사 내성 표준은 고주파 현상에 대한 전자파 내성을 담당하는 77B 분과위원회 산하 10 실무반(WG10)에서 진행하고 있다.

한국 국가 위원회(NC)는 디지털 변조 신호에 의한 전자파 영향을 방지하기 위하여, 전자파 방사 내성 시험표준에 이동통신 변조 신호를 시험 신호로 반영하기 위한 표준화 제안 및 대응 활동을 지속해 왔다. 5G 서비스 도입과 더불어 2019년 10월 중국 상하이에서 개최된 IEC TC77 SC77B 총회에서 그림 8-1과 같이 '광대역 방사 내성 시험 필요성을 설명하고

새로운 표준(NP)을 제안하였고, '5G 서비스와 상호 양립성'을 위해 5G 관련 EMC 요구 사항 규정을 요구한 노르웨이와 더불어 2020년 14개국의 찬성과 6개국의 참여로 IEC 61000-4-41 신규 표준화가 승인되었다.

이후 한국 NC는 77B/WG10 실무반에서 광대역 방사 내성 시험의 주요 기술 요구 사항을 규정하고 있으며, 2023년 2개의 위원회안(1CD, 2CD)이 회람 검토되었고, 현재 위원회투표안(CDV) 문서가 작성 되어 각국 회람을 준비하고 있다.

제2절 주요 표준화 동향 분석

광대역 방사 내성 표준은 넓은 주파수 대역을 점유한 신호를 다룬다는 점에서 협대역 시험 신호를 다루는 IEC 61000-4-3과 근본적인 기술적 차이가

있다. 이 표준은 광대역 신호를 생성하여 방사 내성을 평가할 수 있도록 시험 레벨, 시험 신호, 일정 조건의 전자기장을 형성하기 위한 조건과 시험 절차 등을 규정해야 한다.

1. 시험 레벨 요구 사항

통상 방사 내성 시험의 시험 레벨은 인가되는 전기장의 세기로 규정한다. 이전까지는 시험 신호가 아날로그 변조 협대역 신호였으므로 신호 대역폭 내의 레벨 변화량이 한정적이었고 따라서 시험 레벨은 통상 시험 신호의 첨두 전력으로 인지되었다. 그러나 신규 표준은 광대역 신호를 다루기 때문에 신호가 주파수 대역에서 대역폭만큼 확산된 것을 규정하는 인자가 필요했다.

신규 표준에서는 현존 방사 내성 시험표준 IEC 61000-4-3에서 규정하고 있는 전기장의 세기와 조화를 위하여 등가 반송파 전기장의 세기를 규정하였고, 규정되지 않은 세기도 사용할 수 있도록 하였다. 아울러, 광대역 신호가 점유하고 있는 주파수 대역 특성을 규정하기 위하여 필드 스펙트럼 밀도(field spectral density, FSD)라는 새로운 인자를 표 8-1과 같이 규정하였다.

등가 반송파 전기장의 세기는 V/m 단위로 규정하고

있으며, FSD 단위는 1CD에서는 전력 스펙트럼 밀도 단위(W/Hz)를 참조하여 $\text{dB}(\mu\text{W}/\text{m}\cdot\text{Hz})$ 로 규정하였으나, 2CD부터는 $\text{dB}(\mu\text{W}/(\text{m}\cdot\sqrt{\text{Hz}}))$ 로 수정되었다. CDV에서는 필드 스펙트럼 밀도 용어를 전기장 스펙트럼 밀도(electric field spectral density)로 명확히 수정되었고, 신호 전력 스펙트럼 밀도와의 관계를 설명하기 위한 용어 정의도 추가하였다.

부속서 D에서는 규정되지 않은 시험 레벨을 사용할 때 필요한 5G 기지국 송신 레벨, 전기장 분포 측정값에서 시험 레벨을 유도하는 방법 등에 대한 가이드를 설명하고 있다.

2. 시험 신호 요구 사항

5G NR 신호는 직교 주파수 분할 다중화(OFDM) 변조 신호로써 넓은 점유 스펙트럼, 높은 첨두 전력 대 평균 전력 비율(PAPR), 다중 접속에 의한 동적 스펙트럼 변화와 같은 위해요소를 갖고 있으므로, 한국은 LTE나 5G NR과 같은 최신 이동통신에 적용된 OFDM 신호를 시험 신호로 제안하였다. 반면, 독일 등 WG10 전문가들은 이동통신 방식의 다양한 변조 인자를 반영하기에는 한계가 있으므로 광대역 신호를 대표할 수 있는 일정 대역폭의 백색잡음을 제안하였다. 제안된 백색잡음 시험 신호는 5G NR 변조

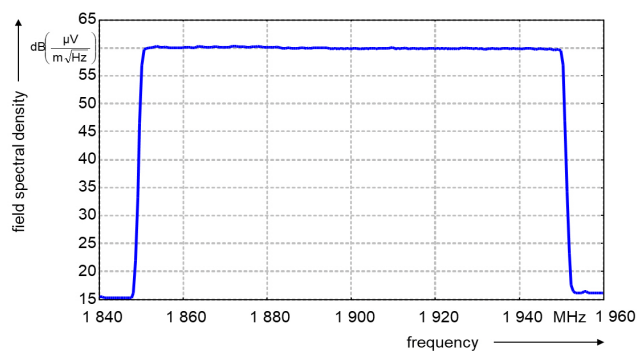
〈표 8-1〉 시험 레벨 규정

Test Level	Equivalent carrier field strength V/m	Electric Field Spectral Density $\text{dB}\left(\frac{\mu\text{V}}{\text{m} \cdot \sqrt{\text{Hz}}}\right)$			
		BW= 5 MHz	BW= 20 MHz	BW= 40 MHz	BW= 100 MHz
1	1	53,0	47,0	44,0	40,0
2	3	62,5	56,5	53,5	49,5
3	10	73,0	67,0	64,0	60,0
4	30	82,5	76,5	73,5	69,5

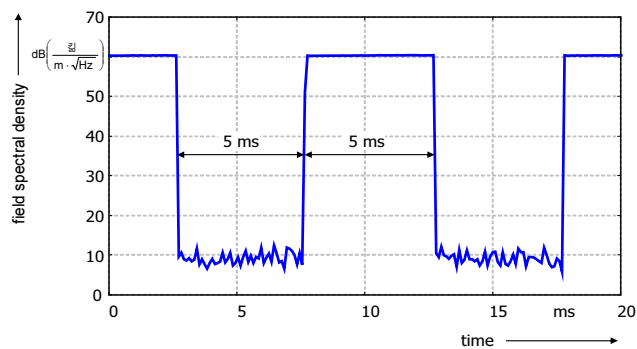
Note 5 MHz and 40 MHz bandwidth (BW) are indicated for the convenience of the product committee.

〈표 8-2〉 5G NR과 백색잡음 시험 신호 특성 비교

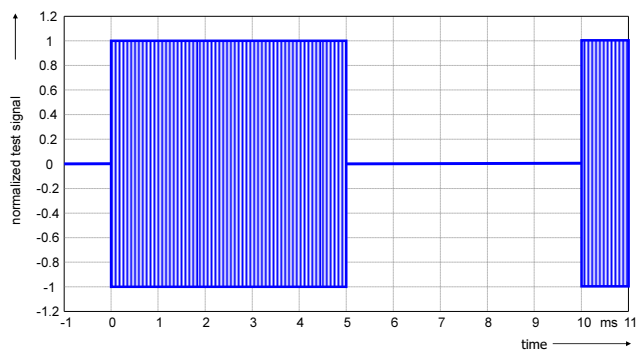
시험 신호	평균 [dBm]	첨두 [dBm]	파고율 [dB]	PAPR [dB]	채널전력 [dBm]
TM1.1	-10.5	1.43	11.93	9.68	-10.51
AWGN TDD	-10.25	1.33	11.58	9.7	-10.35



(a) 주파수 영역에서 100 MHz 시험 신호 예



(b) 시간 영역에서 100 MHz 시험 신호 포락선 예



(c) 펄스변조 시험 신호, 10 ms 주기, 50% 듀티사이클

[그림 8-2] 시험 신호 예시

신호와 비교 검증 시험을 통해 표 8-2와 같이 신호 특성의 유사성이 검증되었고, 77B/WG10 논의를 통해 기본 시험방법의 취지를 살려 특정 대역폭을 갖는 백색잡음 신호와 100 Hz 50 % 동작 주기(duty cycle)의 펄스변조를 함께 사용하는 시험 신호를 규정하게 되었다.

1CD 및 2CD 위원회 안에 시험 신호 특성이 모두 반영되었으며, CDV에서는 기술적 변경 없이 그림 8-2와 같이 파형에 대한 설명을 보완하였다.

OFDM 변조 신호는 침투전력 대 평균전력의 비가 큰 특성이 있으므로 이를 고려하기 위하여 2CD부터 시험 신호의 파고율 검증을 추가로 규정하였다. CDV에서는 파고율 측정의 어려움에 대한 의견을 수용하여 신호 발생기 출력단에서 적어도 10 dB의 파고율 특성을 확인하는 것으로 축소하였고, 시험 신호 특성화(파고율 측정방법)에 대한 부속서를 추가하였다.

3. 시험 신호 대역폭 요구 사항

시험 신호 대역폭은 최신 이동통신 서비스가 지원하는 다양한 대역폭을 검토하였고, 신호 대역폭별 내성 간섭 영향에 대한 비교시험을 통해 신호들이 동일한 채널 전력을 갖고 있음에도 불구하고 더 넓은 대역폭의 시험 신호가 더 많은 간섭을 일으키는 것으로 확인되었다. 또한 검증된 시험설비의 특성을 분석하여 100 MHz 대역폭의 신호까지

사용할 수 있음이 검증되었다. 따라서 표 8-3처럼 LTE와 5G 서비스를 대표할 수 있는 20 MHz와 100 MHz를 시험 신호 대역폭으로 선정하였고, 규정과 다른 대역폭도 사용할 수 있도록 하였다. 이 요구 사항은 1CD, 2CD 및 CDV까지 동일하게 규정하고 있다.

4. 스펙트럼 마스크 요구 사항

시험 신호의 스펙트럼 특성을 규정하기 위하여 스펙트럼 마스크를 추가로 그림 8-3과 같이 규정하였다. 이 스펙트럼 마스크는 측정을 쉽게 할 수 있도록 RF 증폭기 출력에서 검증하는 것으로 규정하였다.

5. 주파수 스텝 요구 사항

시험 신호는 신호 대역폭을 스텝 크기로 하여 스캔 된다. 스캔 시작 주파수는 신호 대역폭의 아래 끝과 맞춰 시작하고, 스캔 종료 주파수에서는 신호 대역폭 내에 포함되면 된다.

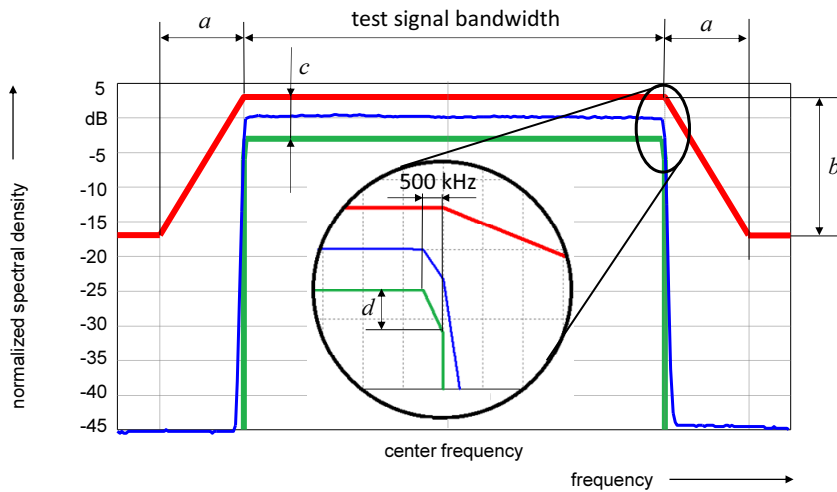
이 요구 사항은 CDV까지 동일하게 규정하고 있다.

6. 레벨 선택 요구 사항

시험 레벨은 각 시험 주파수에서의 신호 전력으로 설정된다. 신규 표준은 IEC 61000-4-3의 레벨링 절차를 그대로 사용한다. 그런데 광대역 시험 신호를

〈표 8-3〉 주파수 범위별 시험 신호 대역폭

Start frequency MHz	Stop frequency MHz	Test signal bandwidth MHz
80	600	Under consideration
600	1 800	20
1 800	6 000	100
6 000	Upper frequency limit	Under consideration



(a) 광대역 시험 신호 스펙트럼 마스크

Test signal bandwidth MHz	<i>a</i> MHz	<i>b</i> dB	<i>c</i> dB	<i>d</i> dB
5	10	20	6	3
20	10	20	6	3
40	20	20	6	3
100	20	20	6	3

For specification of *a*, *b*, and *d*, see Figure 4.

The value for test signal bandwidth of 5 MHz was specified due to frequency response of the signal generating equipment.

Upper amplitude limit decays linearly by dB vs frequency within aMHz of upper and lower band edges.

Lower amplitude limit decays linearly by dB vs frequency within 500 kHz of upper and lower band edges.

5 MHz and 40 MHz test signal bandwidth are indicated for the convenience of the product committee.

(b) 스펙트럼 마스크 요구 사항

[그림 8-3] 스펙트럼 마스크 규정

사용하는 경우 신호 대역폭 내에 여러 개의 레벨링 주파수가 포함될 수도 있다. 따라서 어떤 레벨 설정 데이터를 광대역 시험 신호 레벨로 선택할 것인지 방법을 규정하였다.

2CD까지는 광대역 시험 신호 대역폭의 중심 주파수에서 가장 가까운 주파수의 레벨 설정 데이터를 사용하는 방법과 신호 대역폭에 따라 레벨 설정을 새로 하는 방법이 규정되었었다. CDV에서는 시험 신호 대역폭 내에 레벨링 주파수가 하나도 포함되지

않는 경우와 서로 다른 두 개의 값의 평균을 취하는 일반론을 감안하여 시험 신호 대역폭의 중심 주파수와 이웃한 두 주파수의 데이터를 보간(interpolation) 하는 것을 기본으로 하고, 시험 신호 대역폭 내에 여러 데이터가 존재하는 경우 중심에 가장 가까운 데이터를 선택하는 방법, 그리고 시험 신호 대역폭에 따라 새로 레벨 설정하는 방법으로 수정되었다.

또한 시험 신호 발생기가 CW 신호나 광대역 신호에 대해 같은 RF 총 전력을 출력하므로, 시험

레벨은 RF 증폭기 출력에서 CW 신호와 광대역 신호 측정이 가능한 전력계를 사용하여 변조를 걸지 않은 출력 신호를 측정함으로써 관측하거나 조정할 수 있다.

7. 시험 장비 요구 사항

광대역 방사 내성 시험도 방사 내성 시험의 일종이므로 몇몇 시험 장비를 제외하곤 대부분은 그대로 사용한다.

독일의 챔버별 교정 데이터 분석에 따르면 거의 모든 챔버의 경우 100 MHz 대역폭 내의 UFA 포인트/주파수의 최소 75 %가 목표 전기장 세기의 -3~6 dB 내에 있는 주파수 비율은 3 % 내에 있으며, 인가 전력은 협대역 시험과 비교하여 $\pm 0.2 \sim 0.8$ dB의 전력 편차를 나타내며 극단적인 경우라도 1~4 dB 편차를 나타낸다. 따라서 IEC 61000-4-3의 성능 규정을 충족하는 설비는 IEC 61000-4-41 시험설비 요구 조건을 충족하는 것으로 규정하였다.

신호발생기는 규정된 시험 신호를 발생시킬 수 있는 장비로 규정하였고, 5G 신호발생기와 같은 현존하는 벡터 신호발생기를 활용할 수 있다.

등방성 필드 센서는 광대역 신호에 대한 측정예 한계가 있어 CW 신호 측정만으로 한정하였다. 순방향 전력 측정장치는 광대역 신호를 측정할 수 있어야 한다. 주파수 선택적 측정 장비는 안테나에 공급되는 신호의 스펙트럼 마스크 검증에 사용한다.

8. 스펙트럼 형태 확인 절차

방사 내성 시험(61000-4-3)에서는 증폭기의 정상 범위 동작을 확인하기 위한 포화도 검사 절차를 적용하고 있다. 신규 표준에서는 광대역 신호에 대한 스펙트럼 마스크와 파고율을 검사함으로써 포화도를 검증하도록 규정하고 있다.

2CD에서는 희망 시험 레벨을 발생시키고 스펙트럼 마스크 검사를 수행하고, 추가로 신호발생기 출력과 증폭기 출력에서 각각 1초 동안 파고율을 측정하고 후 둘 간의 편차가 2 dB 이내 임을 검사하도록 규정하였으나, 측정의 어려움과 부정확성에 대한 이견이 많았다.

이에 CDV에서는 희망 시험 레벨에 대응하는 전력보다 10 dB를 증가시킨 후 증폭기 출력 편차가 2 dB 이내이면 적절한 것으로 판단하고, 이후 희망 시험 레벨로 변경하고 스펙트럼 마스크 검사를 수행하는 것으로 보완 수정하였다. 여기서 10 dB는 신호발생기의 파고율 제한값을 고려한 것이다.

9. 시험 셋업 및 절차 요구 사항

시험 셋업은 IEC 61000-4-3과 동일하게 적용한다.

시험 주파수 범위는 5G 서비스 주파수를 고려하여 600 MHz부터 6 GHz까지의 주파수 범위를 대상으로 고려하고 있으며, 주파수 범위의 확장은 추후 규정될 것이다.

시험 신호 대역폭과 그에 상응하는 스텝 크기를 사용한다.

시험은 UFA 및 스펙트럼 형태 검증에 사용된 것과 동일한 시험 설정으로 시행한다. 증폭기의 출력 전력이 제어되는 경우 증폭기를 교체할 수 있지만 추가적인 스펙트럼 형태 검증이 필요하다.

각 주파수 단계에 대해 시험 레벨은 RF 발생기가 변조되지 않은 상태에서 순방향 전력을 교정 레벨보다 5.1 dB 내려 생성하도록 조정한다. 필요한 레벨에 도달한 후 광대역 및 펄스 변조가 켜져야 한다. 전력계용 평균 센서를 사용하는 경우 변조가 켜진 상태에서 증폭기 출력 레벨을 조정할 수도 있다. 이 경우 펄스 변조(50 % 듀티사이클)로 인한 3 dB 전력 감소를 고려해야 한다.

제3절 향후 일정

2020년 신규표준 작업이 승인된 IEC 61000-4-41 광대역 방사 내성 시험 표준은 2025년 6월까지인 개발 완료 기한을 앞두고 있다. 77B/WG10은 기한 내 개발 완료를 위해 24년 1CDV 및 2CDV 발행을 추진할 예정이다. 한국은 프로젝트 제안 주체 및 리더로서 적극적인 국제표준화 대응이 필요하다.

참고문헌

- [1] 광대역 전자파 방사 내성 평가기술 연구동향, 정보와 통신 2023.07
- [2] 77B_861e_CD, IEC 61000-4-41, “Broadband radiated immunity test” 1CD, 2023.05
- [3] 77B_870e_CD, IEC 61000-4-41, “Broadband radiated immunity test” 2CD, 2023.11
- [4] WG10_A0746, IEC 61000-4-41 CDV draft, 2023.12

EMP(고출력 전자파)

제1장 고출력 전자파 관련 IEC TC77 SC77C 표준화 동향

제1장

고출력 전자파 관련 IEC
TC77 SC77C 표준화 동향

권종화 책임,
황창희 책임
(한국전자통신연구원)

제1절 개요

제2절 고출력 전자파 정의

제3절 고출력 전자파 관련 IEC 표준 현황

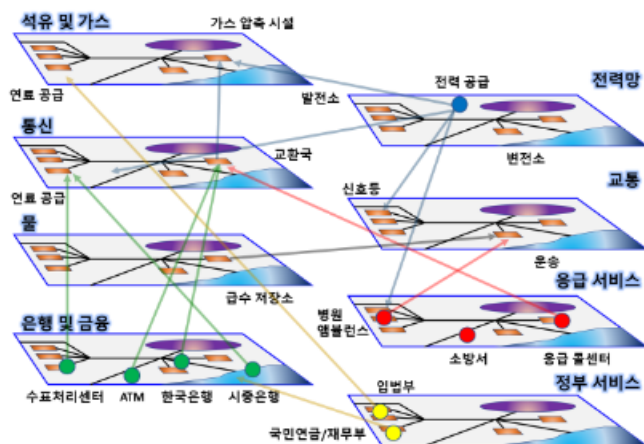
제4절 고출력 전자파 관련 IEC 표준 동향

제5절 결론

▶ 제1절 개요

전기전자 기술과 더불어 AI, Big Data를 기반으로 하여 디지털 기반 사회로 급변함에 따라 전력, 통신, 금융 등 국가 주요기반시설을 포함한 대부분의 중요시설이 디지털 기술로 제어되고 운용되고 있으며 이러한 상황은 지속되고 가속화될 것으로 보인다. 또한 우리나라를 포함한 대부분 국가는 다양한 기능을 담당하는 긴밀한 시스템의 체계(system of system)에

의해 유지된다. 대부분의 핵심 인프라는 (그림 1-1)과 같이 긴밀하게 연계되어 운용되고 있으며, 이러한 상호 연계성은 향후에도 지속적으로 확대되고 강화될 전망이다. 이와 같은 핵심 인프라를 포함한 주요 시설들 사이에 긴밀한 상호 연계성이 확보된 상황에서는 특정 분야에서 고장이나 오동작이 발생하면 그 영향은 해당 분야와 더불어 상호 연계된 타 분야에도 심각한 영향을 미치며, 이로 인해 국민들에게 경제적 손해나 상당한 불편함을 초래하거나 심각하게는 인명 피해를 초래할 수 있다. 따라서 고출력 전자파 위협으로부터



[그림 1-1] 국가 핵심 기반시설들의 상호 연계 운용성 개념도 [3][4]

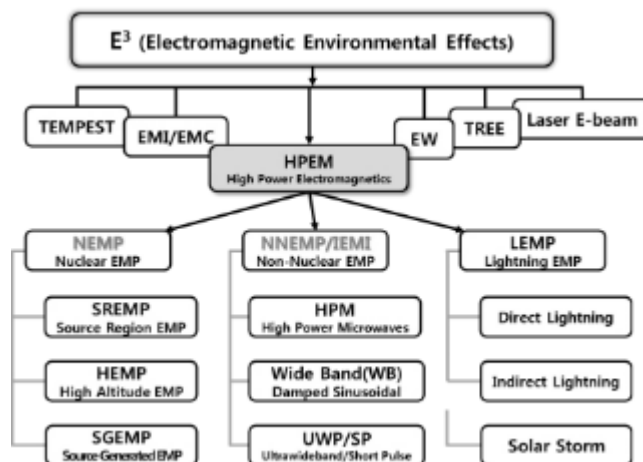
주요 장비와 시스템 보호에 관한 관심과 필요성이 높아지고, 이에 따라서 관련 방호성능 평가에 관련 표준에 관한 관심이 높아지고 활동도 많아지고 있다.^{[1]-[4]}

제2절 고출력 전자파 정의

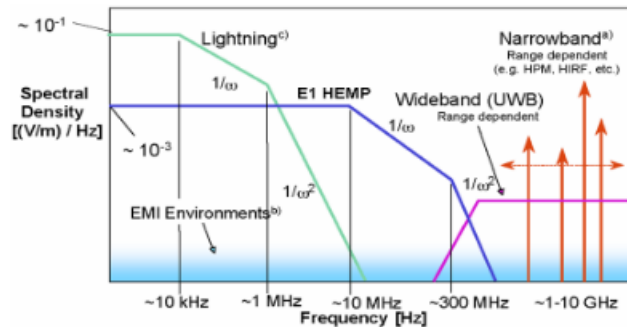
미군 표준(Mil Std. 464)^{[2][5]}에 따르면 (그림 1-2)에서와 같이 전자파 환경 효과(Electromagnetic Environmental Effect; E3)를 고려해야 하는 전자파 현상은 다양하다. 전기전자 장비로부터 발생하는 노이즈, 즉 불요 전자파와 관련되는 전자파 적합성(EMC), 주요 장비에서 발생하는 비의도성 전자파로부터 주요 정보가 누설되는 것을 방지하는 기술과 관련된 TEMPEST, 재밍(jamming) 등과 같이 전자파를 이용한 주요 전자 무기의 무력화와 관련된 전자전(Electronic Warfare, EW), 장비에 대한 과도 방사 효과(Transient Radiation Effects on Electronics, TREE), 그리고 레이저, 그리고

고출력 전자파(High Power Electromagnetic; HPEM) 등이 있다.

여기서 고출력 전자파(HPEM)에는 핵 폭발에 의해 발생하는 핵 전자파 펄스(Nuclear EMP, NEMP)와 핵 폭발 이외의 원인에 의해 발생하는 비핵 전자파 펄스(non-nuclear EMP, NNEMP), 그리고 낙뢰에 의해 발생하는 전자파(Lightning EMP, LEMP)로 구분된다. 특히 30 km 이상의 고도에서 핵 폭발로 생성되는 펄스형 전자파를 고고도 핵 전자파 펄스(High-Altitude Electromagnetic Pulse, HEMP)^[6]라고 하고, 주요 기기 및 시스템을 손상 시키거나 고장을 유발할 수 있는 의도적으로 방사·전도된 전자파를 고출력 비핵 전자파(High Power Electromagnetics: HPEM)^[7]라고 한다. 일반적으로 HEMP인 경우 고고도 핵폭발 때문에 발생하는 전기장의 세기는 넓은 범위에서 최대 50 kV/m로 발생하는 반면, 의도적 전자파장해(Intentional electromagnetic interference, IEMI)를 포함한 HPEM의 경우에는 전기장의 세기가 발생원의 출력, 피해 대상 기기까지의 거리 등 여러 가지 요인에 의해서 결정된다. HEMP는 최대 약 500



[그림 1-2] 전자기 환경 영향(E3) ^{[2][5]}

[그림 1-3] 고출력 전자파 및 전자파장해에 의한 전자기 환경 비교^[8]〈표 1-1〉 전자파적합성 및 핵/비핵 고출력 과도현상에 의한 전자파 환경 비교^{[6]-[8]}

비교 항목	전자파적합성(EMC)	핵 EMP (HEMP)	비핵 EMP (HPEM/IEMI)
주파수대역	80 MHz ~ 2.7 GHz (방사) 150 kHz ~ 80 MHz (전도)	~ 500 MHz	100 MHz ~ 수십 GHz
전자파 세기	3 V/m (50 V/m)	50 kV/m	수백 V/m ~ 수백 kV/m
영향 범위	~ 수십 m	~ 수백 km	~ 수백 m
	전기전자기기	전력/통신망	IDC, 원전 등 주요 건물
발생 원인	전기전자기기	고고도 핵폭발	고출력 방사체

㎐ 주파수대역까지 광대역 특성을 가지는 반면, IEMI/HPEM과 같은 비핵 전자파 펄스의 경우에는 주로 500 ㎐ 이상 주파수대역에서 발생원에 따라 협대역 혹은 광대역 특성을 가진다. (그림 1-3)과 (표 1-1)에서는 핵 및 비핵 고출력 전자파와 기존 전자파장해(EMI)에 의한 전자기 환경의 특성을 비교하였다. 일반적으로 HEMP인 경우 고고도 핵 폭발 때문에 발생하는 전기장의 세기는 넓은 범위에서 최대 50 kV/m로 발생하는 반면, 의도적 전자파장해(Intentional electromagnetic interference, IEMI)를 포함한 HPEM는 전기장의 세기가 발생원의 출력, 피해대상 기기까지의 거리 등 여러 가지 인자에 의해서 정해진다. HEMP는 최대 약 500 ㎐ 주파수대역까지 광대역 특성을 가지는 반면, IEMI/HPEM과 같은 비핵 전자파 펄스의 경우에는 주로 500 ㎐ 이상 주파수대역에서 발생원에 따라 협대역 혹은 광대역 특성을 가진다.

민수용 장비 및 시설에 대한 고출력 전자파 관련 표준은 주로 IEC 산하 TC77 SC77C에서 담당하고 있으며, IEC 표준을 근거로 ITU-T, IEEE에서 고출력 전자파 관련 표준이 일부 제정되고 있는 실정이다. 본 문서에서는 IEC TC77 SC77C에서 담당하고 있는 고출력 전자파 관련 국제 표준 현황과 현재 진행 중인 표준화 동향에 대해 소개하고자 한다.

제3절 고출력 전자파 관련 IEC 표준 현황

1. IEC TC77 SC77C 개요

국제전기기술위원회(IEC)^[9]는 모든 전기·전자 기기와 관련 기술에 대한 표준을 담당하는 전기·전자 분야 국제표준 관련 최고의 권위를 갖는 기관으로

〈표 1-3〉 IEC TC77 SC77C 국제표준화 프로젝트 현황^{1)a}

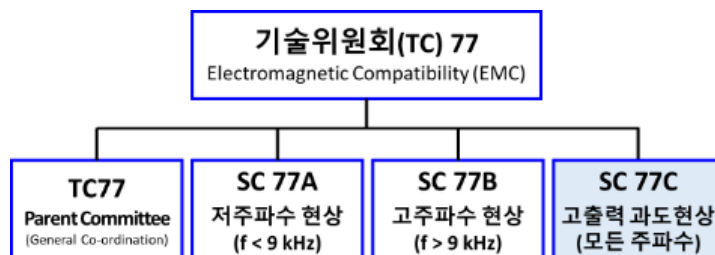
프로젝트	관련 문서	작업반	목표일
IEC 61000-2-9 ED2 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-9: Environment – Description of HEMP environment – Radiated disturbance. Basic EMC publication	77C/334/CC (2023.11.10)	MT 61000-2-9 (W. A. Radasky)	2025-03
IEC 61000-4-23/AMD1 ED2 Amendment 1 – Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-23: Testing and measurement techniques – Test methods for protective devices for HEMP and other radiated disturbances	77C/312/RR (2021.05.21)	MT 61000-2-9 (Jung Hwan Hwang)	2024-12
IEC 61000-5-6 ED1 Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 5-6: Installation and mitigation guidelines – Mitigation of external EM influences	77C/333/RVC (2023.11.10)	IEC61000-5-6 (Richard Hoad)	2024-09

〈표 1-4〉 IEC TC77 SC77C에서 담당하고 있는 표준에 대한 유지보수 일정^{1)a}

표준	출판일	유지보수	표준	출판일	유지보수
61000-1-3:2002 ED1	2002-06-05	2025	61000-4-35:2009 ED1	2009-07-23	2025
61000-1-5:2004 ED1	2004-11-15	2025	61000-4-36:2020 ED2	2020-03-23	2025
61000-2-9:1996 ED1	1996-02-19	2024	61000-5-3:1999 ED1	1999-07-09	2025
61000-2-10:2021 ED2	2021-11-18	2025	61000-5-4:1996 ED1	1996-08-13	2025
61000-2-11:1999 ED1	1999-10-29	2025	61000-5-5:1996 ED1	1996-02-07	2025
61000-2-13:2005 ED1	2005-03-09	2025	61000-5-6:2002 ED1	2002-06-05	2024
61000-4-23:2016 ED2	2016-10-20	2024	61000-5-7:2001 ED1	2001-01-12	2025
61000-4-24:2015 ED2	2023-08-23	2026	61000-5-8:2009 ED1	2009-08-31	2025
61000-4-25:2001 ED1	2019-12-11	2025	61000-5-9:2009 ED1	2009-07-08	2025
61000-4-32:2002 ED1	2002-10-30	2025	61000-5-10:2017 ED1	2017-05-18	2025
61000-4-33:2005 ED1	2005-09-27	2025	61000-6-6:2003 ED1	2003-04-09	2025

산하에 전자파적합성(EMC) 관련 국제표준을 담당하는 기술위원회인 국제무선장해특별위원회(CISPR)와 전자파적합성(TC77)이 있다.

IEC TC77는 (그림 1-4)에서와 같이 3개의 분과위원회(Sub-Committee, SC)로 구성되어 있다. SC77A (9 kHz 이하)와 SC77B (9 kHz 이상)는 주로

[그림 1-4] TC77 표준위원회 조직도 및 분과위원회별 주요 역할^{a)}

IEC 61000-1 일반	1-3: 공공 전력 시스템 및 기기의 HEMP 영향		1-5: 고출력 전자기(HPERM)가 민간 시스템에 미치는 영향	
IEC 61000-2 환경	2-9: HEMP 환경의 서술 - 방사성 장애	2-10: HEMP 환경의 서술 - 전도성 장애	2-11: HEMP 환경의 분류	2-13: 고출력 전자기(HPERM) 환경 - 방사 및 전도
IEC 61000-4 시험 및 측정기술	4-23: HEMP 및 기타 방사 방해에 대한 보호장비 시험방법	4-24: HEMP 전도 방해 보호장비 시험방법	4-33: 고출력 과도현상 매개변수의 측정 방법	4-35: 고출력 전자기(HPERM) 시뮬레이터 개요
	4-25: 장비 및 시스템에 대한 HEMP 내성 시험방법	4-32: 고고도 전자파 펄스(HEMP) 시뮬레이터 개요	4-36: 기기 및 시스템에 대한 IEMI 내성 시험방법	
IEC 61000-5 설치 및 완화 지침	5-3: 고고도 전자파 펄스(HEMP) 방호 개념	5-4: HEMP 내성 - HEMP 방사 방해에 대한 보호장치	5-5: HEMP 전도성 방해에 대한 보호 장치 규격	5-6: 외부 전자기(EM) 영향의 완화
	5-7: 전자파 장애로부터 함체에 의한 보호 정도	5-8: 분산된 기반시설에 대한 고고도 전자파 펄스(HEMP) 보호 방법	5-9: HEMP와 HPERM에 대한 시스템 레벨의 감응성 평가	5-10: HEMP/ IEMI에 대한 시설 방호 지침
IEC 61000-6 일반 표준	6-6: 육내 기기의 고고도 전자파 펄스(HEMP) 내성		역EMP	비역EMP

[그림 1-5] IEC/TC77에서 발행된 HEMP 및 HPERM 관련 표준 ^{[1]-[3],[10]}〈표 1-2〉 고출력 과도현상 관련 IEC TC77 SC77C 담당 국제표준 주요 내용^[10]

표준 번호	표준 제목 및 주요 내용
IEC TR 61000-1-3 Ed1.0: 2002	민간 장비 및 시스템에 대한 HEMP 영향: 전 세계에서 수행된 실제시험과 모의시험 결과를 기반으로 HEMP에 의해 장비에 발생하는 영향 기술
IEC TR 61000-1-5 Ed1.0: 2004	민간 시스템에 대한 HPERM 영향: 민간 시스템에 대한 HPERM 전자기장과 전류 및 전압 영향 기술
IEC 61000-2-9 Ed1.0: 1996	HEMP 환경 기술 - 방사성 방해: 고고도 핵폭발로 발생한 방사성 HEMP 환경을 정의하고 방사성 HEMP 환경에 대한 기준 설정
IEC 61000-2-10 Ed2.0: 2021	HEMP 환경 기술 - 전도성 방해: 고고도 핵폭발로 발생한 전도성 HEMP 환경을 정의하고 전도성 HEMP 환경에 대한 기준 설정
IEC 61000-2-11 Ed1.0: 1999	HEMP 환경 분류: HEMP 전자파 환경을 분류하고 HEMP 파형에 노출 중 또는 노출 후에도 전기·전자 장비·시스템이 동작하도록 내성 요구사항 규정
IEC 61000-2-13 Ed1.0: 2005	HPERM 환경 - 방사 및 전도: 민간 시설에서 발생할 수 있는 일반적인 방사성 및 전도성 HPERM 환경에 대한 파형을 정의
IEC 61000-4-23 Ed2.0: 2016	HEMP 및 기타 방사성 방해에 대한 보호장비 시험방법: HEMP 및 기타 방사성 방해에 대한 보호 장치를 시험하는 방법을 제공
IEC 61000-4-24 Ed2.0: 2015	HEMP 전도성 방해에 대한 보호 장치 시험방법: HEMP 전도성 방해에 대한 보호 장치를 시험하는 방법을 제공
IEC 61000-4-25 Ed1.2: 2019	기기 및 시스템에 대한 HEMP 내성 시험방법: HEMP 환경에 노출된 전기·전자 기기와 시스템에 대한 내성 시험 수준과 관련된 시험방법을 제시
IEC TR 61000-4-32 Ed1.0: 2002	HEMP 시뮬레이터 개요: 표준 제정 시점에서 전 세계에 존재하는 HEMP 시뮬레이터에 대한 정보
IEC 61000-4-33 Ed1.0: 2005	고출력 과도현상 파라미터 측정 방법: 고출력 과도 전자파 파라미터로부터 발생하는 응답을 측정하는 방법과 계측 장비에 대해 기본적인 설명을 제공
IEC TR 61000-4-35 Ed1.0: 2009	HPERM 시뮬레이터 개요: 표준 제정 시점에서 전 세계에 존재하는 HPERM 시뮬레이터에 대한 정보

표준 번호	표준 제목 및 주요 내용
IEC 61000-4-36 Ed2.0: 2020	기기 및 시스템에 대한 IEMI 내성 시험방법: 의도성 전자파장해(IEMI) 위협에 대해 기기와 시스템의 방호 성능을 평가하기 위한 내성 시험 레벨과 측정 방법을 기술
IEC TR 61000-5-3 Ed1.0: 1999	HEMP 보호 개념: HEMP에 의해 발생한 고출력 전자파에 대한 민간 시설에서의 방호 개념을 정의하고 정보 제공
IEC TS 61000-5-4 Ed1.0: 1996	HEMP 방사성 방해에 대한 보호장치 규격: 방사성 HEMP 위협으로부터 민간 시스템 보호에 사용되는 보호장치를 규정하는 방법을 정의
IEC 61000-5-5 Ed1.0: 1996	HEMP 전도성 방해에 대한 보호장치 규격: 전도성 HEMP 위협으로부터 민간 시스템 보호에 사용되는 보호장치를 규정하는 방법을 정의
IEC TR 61000-5-6 Ed1.0: 2002	외부 전자기 영향의 완화: 전기·전자 장치나 시스템에 대해 EMC 확보를 위한 목적으로 시설에 가해지는 외부 전자파 영향을 완화시키는 데 사용되는 지침을 기술
IEC 61000-5-7 Ed1.0: - 2001	전자파 방해에 대한 합체 보호 정도: 10 kHz ~ 40 GHz 주파수대역 전자파 방해에 대해 합체가 제공하는 보호 수준에 대한 요구사항과 시험방법 및 분류 절차를 기술
IEC TS 61000-5-8 Ed1.0: 2009	분산 기반시설에 대한 HEMP 보호 방법: 전력, 통신, 금융 등 분산된 기반시설을 HEMP 위협으로부터 보호하는 방법에 대한 지침을 제공
IEC TS 61000-5-9 Ed1.0: 2009	HEMP와 HPEM에 대한 시스템 수준 취약성 평가: HEMP와 HPEM 환경이 전자 시스템에 미치는 영향을 평가하는 방법
IEC TS 61000-5-10 Ed1.0: 2017	HEMP/IEMI에 대한 시설 방호 지침: HEMP 및 IEMI의 고출력 전자파 위협으로부터 신규 및 기존 시설을 효율적으로 보호하기 위한 지침
IEC 61000-6-6 Ed1.0: 2003	실내 기기에 대한 HEMP 내성: 실내에서 사용하는 전기·전자 장비를 대상으로 HEMP 내성 요구사항을 정의

전자파 내성과 관련된 표준을 담당하고 있으며, SC77C에서 고출력 전자파 분야에서의 표준을 담당하고 있다.

IEC TC77 산하 SC77C는 핵/비핵 EMP를 포함한 고출력 과도현상(High Power Transient Phenomena)을 다루는 표준 위원회로 주요 임무는 “고고도 핵폭발에 의한 전자파 펄스(HEMP), 의도성 전자파장해(IEMI)를 포함한 비핵 전자파 펄스, 그리고 태양 활동에 의한 지자기 유도 전류(Geomagnetically Induced Currents, GIC)로 인한 위협으로부터 민수용 기기, 시스템 및 시설을 보호하기 위한 전자파적합성 분야에서의 표준화를 담당(www.iec.ch 참조^{[10])}한다. 여기서, TC77 SC77C에서 정의한 고출력 조건은 100 V/m를 초과하는 침투치 입사 전자기장을 기준으로 하며, 낙뢰와 기타 과도현상은 제외한다.

2. IEC TC77 SC77C 표준 현황

IEC에서는 1980년대 초반부터 핵폭발에 의한 고고도 전자파 펄스(HEMP)에 대한 미군 규격을 기반으로 전자파 환경을 정의하고, 민수용 시설 및 전기·전자 장비에 대한 내성 평가, 방호 장치에 대한 성능평가, 그리고 보호대책 관련 표준을 제정하여 현재 거의 완료된 상태이다. 1992년에 고출력 전자파 현상을 전담할 새로운 조직인 SC77C가 만들어져 초기에는 HEMP에 의한 고출력 전자파로부터 민수용 전자장비 보호를 위한 표준 개발에 집중하였으나 1999년 6월부터는 IEMI를 포함한 비핵 고출력 전자파 펄스(HPEM)으로 업무를 확장하여 최근에는 주로 비핵 EMP 관련 표준을 제정하고 있다.

IEC TC77에서 개발되는 표준은 IEC61000 시리즈로 발행되며 61000-1-x는 기본적인 원리나 정의 등 일반적인 사항을, 61000-2-x는 전자기

환경에 대해 기술한다. 61000-3-x는 방출 허용 기준이나 내성 평가 레벨을, 61000-4-x는 측정 및 시험방법을, 61000-5-x는 설치 지침과 전자파 저감 방법에 대해, 그리고 61000-6-x는 61000 시리즈 표준을 적용하는 일반적인 사항에 대해 기술되어 있다. IEC에서는 고출력 전자파 관련 22개의 표준을 발행하였으며 IEC TC77 산하 SC77C에서 담당하는 고출력 전자파 관련 표준(기술보고서 포함)은 (표 1-5)와 같다.

고출력 전자파 관련하여 IEC TC77 SC77C에서 담당하고 있는 표준명과 주요 내용은 (표 1-2)와 같다.

3. IEC TC77 SC77C 표준 동향

고출력 전자파 위험과 사회적 영향에 대한 관심과 우려가 높아짐에 따라 고출력 전자파 위험으로부터 주요 시스템과 시설을 적절히 보호하기 위한 기술 개발과 더불어 관련 표준 제정의 필요성이 커지고 있다. 이와 관련하여 우리나라를 비롯한 미국, 영국 등 전문가들을 중심으로 핵 및 비핵 고출력 전자파 관련하여 다양한 연구 결과를 기반으로 전자파 환경에 대한 정의를 보완하고, 기기 내성 평가, 보호장치의 성능평가 관련하여 새로운 내용으로 기존 표준을 보완하기 위한 활동이 진행 중이다. IEC TC77 SC77C에서 담당하고 있는 고출력 과도 현상에 대하여 현재 진행 중인 표준화 프로젝트는 (표 1-3)에서와 같다.

IEC에서는 기술위원회에서 담당하고 있는 모든 표준에 대해 유지보수를 철저히 하도록 권고하고 있다. TC77 SC77C에서 담당하고 있는 표준에 대한 유지보수 관련 사항에 대해서는 모든 프로젝트 회의에서 논의하고 업데이트하여 (표 1-4)에서와 같이 적절히 유지보수가 될 수 있도록 관리하고 있다.

제4절 고출력 전자파 관련 IEC 표준 동향

본 절에서는 IEC TC77 SC77C에서 현재 진행 중인 프로젝트와 아직 프로젝트로 진행되고 있지는 않지만 논의가 되고 있는 몇 가지 주제에 대해 표준화 동향을 기술한다.

1. IEC 61000-2-9

IEC61000-2-9 표준^[11]은 고고도 핵 전자파 펄스(HEMP)에 의해 발생하는 방사성 전자파 환경에 대해 정의하며 HEMP 환경에 대한 성능 평가를 위해 피해 기기에 적용할 현실적 시험레벨을 선택하고 HEMP의 영향을 최소화하는 보호 방법을 개발하기 위해 HEMP 환경에 대한 참조를 제공하는 것을 목적으로 한다. IEC 61000-2-9 Ed1.0 표준에는 1960년대 각각 미국과 소련에서 수행된 고고도 핵실험을 통해 확보된 정보를 기반으로 고고도 핵 전자파 펄스(HEMP)에 의한 방사성 전자기 현상을 기술하고 있다.

IEC61000-2-9 표준은 고고도 핵 전자파 펄스(HEMP)에 의해 발생하는 방사성 전자파 환경에 대해 정의하며, 프로젝트 리더는 미국의 William Radasky (Meta Tech)가 맡고 있다. 본 프로젝트에서는 미국 에너지부에서 발표한 HEMP 파형을 IEC61000-2-9에 반영하고 다음의 내용을 보완하는 것을 목적으로 표준 개정 업무가 진행 중이며 주요 진행사항은 다음과 같으며 현재 첫 번째 위원회 문서(77C/327/CD)에 대한 국가위원회 의견에 대한 검토가 완료(77C/334/CC)되었으며 투표를 위한 위원회 문서(CDV)가 준비 중이다.

- 77C/303/Q (21.3.19): IEC61000-2-9 표준의 개정 필요성과 제안된 주요 개정 내용
- 77C/306/RQ (21.4.2): 77C/303/Q에 대한

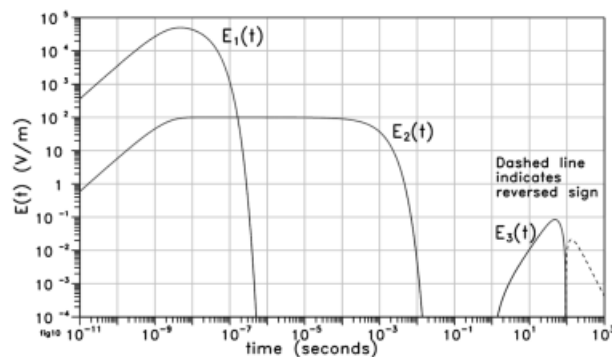
NC 투표 결과 12개국 찬성(반대 없음)으로 통과
 - 77C/311/RR (21.5.17): IEC61000-2-9 개정을 위한 검토 보고서(Review Report)
 - 77C/327/CD (23.5.19): IEC61000-2-9 개정을 위한 위원회 문서(Committee Document)
 - 77C/334/CC (23.11.10): 77C/327/CD에 대한 국가위원회 의견에 대한 검토 결과
 본 프로젝트에서 개정하고자 하는 주요 내용은 다음과 같은 내용^[12]을 포함한다.

- 수치해석 능력의 향상으로 2차원이 아닌 3차원 공간에서 HEMP 현상을 해석하는 것이 가능함. 전자기장 세기 모델링을 위해 기존에 사용된 1차원 근사와 고주파 근사를 개선하여 모델의 정확도를 향상시킴.
- HEMP 파형 중 E3 파형은 매우 오래된 이론에 근거하여 모델링 된 것으로, 개정 표준에서는 미국 에너지부에서 연구된 고출력 전자파 연구결과를 바탕으로 E3 파형 모델 개선에 주안점을 둬. 파형의 첨두 값과 펄스 폭 수치에 변동이 있음.
- HEMP에 의해 지면에 형성되는 전기장 세기의 등고선, 즉 스마일 곡선에 수정사항이 있음. 스마일 곡선을 북반구뿐만 아니라 남반구에 대해서도 계산하여 제시할 예정임.

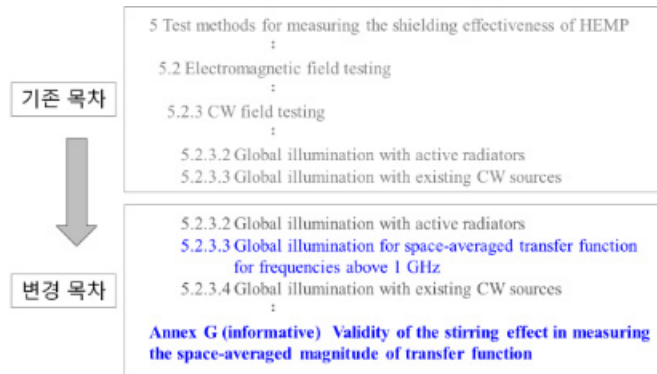
- IEC61000-2-9 표준에 전자기장 파형에 대한 데이터를 포함한 새로운 부속서(Annex)를 추가함. 전자기장 파형은 이중 지수함수(Double exponential function)로 구성됨. 지수함수의 변수에 따라 파형이 변화하며, 부속서에서는 해당 파형의 변수 값들을 제시함.
- 전자기장 모델링에 원역장과 근역장 개념을 도입함. 이를 통해 수백 MHz의 낮은 주파수 영역에서 지면에 형성되는 전자기장을 보다 정확하게 모델링 할 수 있음.

2. IEC 61000-4-23

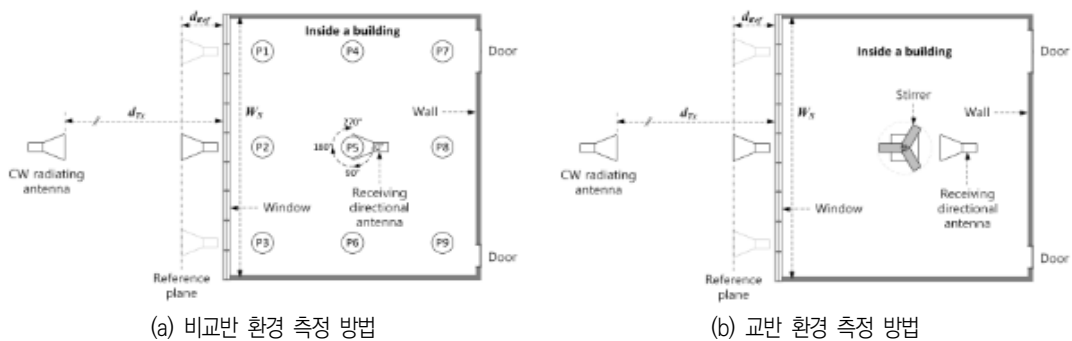
고출력 전자파 위협으로부터 주요 장비나 시스템을 효과적으로 보호하기 위해서는 방호 대상 시스템의 주변 환경을 고려하고 적절히 이용할 필요가 있다. 즉, 고출력 전자파 위협을 단순히 차폐물이나 필터 등 방호 소재나 부품을 사용하여 1차원적으로 방호를 하면 구축 및 유지보수, 그리고 시험 평가 등에서 많은 비용이 소모된다. 그러나 대부분의 주요 장비와 시스템은 외부 환경에서 상당히 떨어진 건물의 중심부에 위치하며, 이러한 환경에서 위협원과의 거리나 건물 등에 의한 전자파 감쇠를 고려하면 보다 효율적으로 방호 대책 수립이 가능하다. 실제 방호



[그림 1-6] 개정된 시간영역 HEMP(E1, E2, E3) 파형^[12]



[그림 1-7] 개정된 IEC61000-4-33 표준에 대한 목차



[그림 1-8] 공간 평균을 기반으로 시설에 대한 고출력 전자파 취약성 평가 방법

관련 표준이나 지침에서도 구역별(zoning) 방호 대책 수립을 권고하고 있다.

이러한 방법을 사용하기 위해서는 외부 환경에 의한 전자파 감쇠량을 공학적인 방법으로 측정이 가능해야 한다. 현재 건물에 의한 고출력 전자파 방호성능 평가는 IEC 61000-4-23에서 제안하고 있는 연속파 노출(CWI: Continuous Wave Immersion) 방법으로 측정하도록 되어 있다. 그러나 CWI 방법을 적용하는 데는 많은 어려움이 있어 실제 사용되고 있지는 않은 상황이다. 이에 대한 해결방안으로 ETRI에서는 공간 평균을 이용한 측정방법, 즉 건물 내 여러 지점에서 전자기장을 측정하고 측정된 신호의 평균을 취하여 건물에 의한 감쇠량을 계산한 후 이를 평가 대상 공간에 대한

방호 성능으로 사용하는 방법을 제안하였다.

IEC61000-4-23 표준^[13]은 HEMP를 포함한 방사성 고출력 전자파에 대한 보호 장치의 성능평가 방법에 대한 내용을 다루며, 프로젝트 리더는 한국의 황정환 책임(ETRI)이 맡고 있다. 본 프로젝트에서는 일반 건물에 대해 고출력 전자파 전달특성 또는 취약성을 평가하는 방법을 제안하는 것을 목적으로 표준 개정 업무가 진행 중이며 주요 진행사항은 다음과 같으며 현재 위원회 문서(CD)가 작성 중에 있다.

- 77C/304/Q (21.3.19): IEC61000-4-23 표준 개정 찬성 여부 및 MT 구성과 전문가 모집
- 77C/309/RQ (21.5.14): 77C/304/Q에 대한 NC 투표 결과 12개국 찬성(반대 X)으로 통과

- 77C/312/RR (21.6.18): IEC61000-4-23
개정을 위한 검토 보고서

IEC TC77C 프로젝트 회의에서 논의된 기술적 사항으로는 제안된 평가방법은 100 MVA 이하, 특히 HEMP와 같이 대부분의 에너지가 10 MVA 이하에 있는 경우에 적용하기 어려우며, 따라서 HEMP보다는 IEMI를 포함한 HPEM에 적용이 가능하다는 점이다. IEC61000-4-23이 HEMP 이외에도 다른 방사성 방해에도 적용되는 표준이므로 적용 범위에 포함되는 것으로 결정하고 프로젝트를 진행하기로 하였다. 또한 현재 제안된 평가방법은 1 MVA 이상 주파수 대역에서 검증하고 있으며, 향후에는 1 MVA 이하에서도 측정과 검증할 예정이다. 이러한 과정으로 통해서 제안된 평가방법의 경우 사용 가능한 하한 주파수에 대한 확인이 필요하며, 주파수가 낮아질수록 교반기가 커져야 하는 등 여러 가지 어려움이 있을 수 있다.

본 프로젝트에서 개정하고자 하는 주요 내용은 건물 등 대형 구조물에 대한 고출력 전자파 방호 수준 평가방법을 IEC61000-4-23에 반영하는 것으로 다음과 같은 내용을 포함한다.

- 교반기를 사용한 취약성 평가 방법을 신규로 포함하는 IEC 61000-4-23 표준 개정 프로젝트에 대해 현재 진행상황을 SC77C 위원회에 보고함. (그림 1-7)은 IEC 61000-4-23 표준의 개정 전과 후의 목차를 비교함.
- 표준 개정 과정에서 새롭게 추가되는 5.2.3.3은 공간 평균을 기반으로 시설에 대한 고출력 전자파 취약성을 평가하는 방법이며, 이를 위해 공간 내 여러 위치에서 수신 안테나의 방향을 바뀔 때 측정하는 비교반 환경 측정과 공간 내 특정 위치에서 교반기(stirrer)를 이용하여 측정하는 교반 환경 측정으로 구분됨. 교반

환경을 사용함으로써 측정에 필요한 시간과 비용을 줄일 수 있음. (그림 1-8)은 IEC61000-4-23 표준에 제안된 측정방법에 대한 측정 셋업임.

- 교반기 기반의 취약성 측정은 기존의 측정방법에 비해 측정 시간이 단축되는 방법으로 측정 셋업과 절차를 기술. 또한 부속서 G를 추가하여 교반환경 측정에 대한 검증 결과를 제시함.

3. IEC 61000-5-6

IEC 61000-5-6 표준^[4]은 외부 전자파 영향을 완화하기 위한 지침을 다루며, 프로젝트에서 IEC 61000-5-6에 새롭게 반영하려고 하는 복원력(resilience)의 일반적인 개념은 장비에 대한 성능 저하, 중단 또는 손상을 허용하는 것을 일부 인정하고 본질적으로 신속한 기능 복구 및 복원을 통해 주요 장비와 시스템이 허용된 범위내에서 안정적으로 동작하도록 체계적으로 관리하는 것이다.

IEC61000-5-6 표준은 외부 전자파 영향을 완화하기 위한 지침을 다루며 프로젝트 리더는 영국의 Richard Hoad(QinetiQ)가 맡고 있다.

본 프로젝트는 IEC61000-5-6에 대한 유지보수가 아닌 새로운 표준을 제정하는 것을 목적으로 하고 있어 유지보수 프로젝트가 아닌 정식 프로젝트로 진행하는 것으로 결정되었다. 따라서 신규 프로젝트로 진행하기 위한 NP 문서(77C/315/NP)가 2021년 6월에 발행되었으며 투표 결과(77C/322/RVN) 투표에 참여한 16개국 전체의 찬성으로 통과되었다. 새로운 표준에서는 고출력 전자파 위협으로 주요 시설을 보호하기 위해 기존 보호 중심 대책보다는 복원력(resilience) 기반 대책에 대한 내용을 추가할 예정이다. 프로젝트와 관련되어 주요 진행사항은 다음과 같으며 현재 77/327/CDV에 대한 투표 결과 92.9%(투표에 참여한 14개국 중 13개국 찬성)로

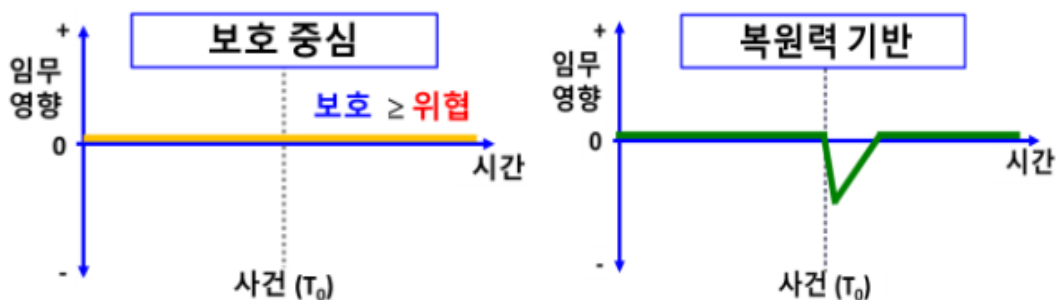
국제표준 개정안이 준비 중에 있다.

- 77C/305/Q (21.3.19): IEC61000-5-6 표준 개정 찬성 여부 및 MT 구성과 전문가 모집
- 77C/306/RQ (21.5.14): 77C/305/Q에 대한 NC 투표 결과 12개국 찬성(반대 없음)으로 통과
- 77C/315/NP (21.6.18): IEC61000-5-6 개정을 위한 신규 프로젝트 제안 문서
- 77C/322/RVN (21.11.5): 77C/315/NP에 대한 투표 결과 16개국 찬성(반대 없음)으로 통과
- 77C/324/CD (22.7.22): 외부 고출력 전자파 환경 완화를 위한 복원력(resilience) 기반 방호 방식에 대한 내용이 추가된 위원회 문서
- 77C/325/CC (22.7.22): 77C/324/CD에 대한 국가위원회 의견에 대한 검토 결과
- 77C/326/CDV (23.5.26): 77C/324/CD에 대한 국가위원회 의견이 반영된 국제표준으로 개정 여부를 투표하기 위한 위원회 문서
- 77C/333/RVC (23.11.10): 77C/326/CDV에 대한 투표 결과 문서

IEC61000-5-6 표준은 외부 전자파가 시설이나 시스템에 영향을 완화하기 위한 보호 개념 또는 보호 주도 방식에 대한 내용이며, 외부 전자파 영향의 완화를 위한 다른 요소, 방법 또는 절차와 함께 하나의 요소로서의 보호를 포함하는 복원력 기반 방식의

개념을 부속서에 기술하며 전자파 방해로부터 설비의 복원력을 관리하기 위한 프레임워크를 제안한다. 즉, (그림 1-9)와 같이 보호 중심 방법은 고출력 전자파 위협레벨보다 방호 수준을 높게 유지하여 주요 시설을 보호하는 반면, 복원력 기반 방법은 고출력 전자파 위협에 영향을 받을 수 있지만 적시에 복구하여 주요 시설의 기능 유지에 영향이 없도록 조치를 취하는 방식이다. 보호 중심 방식과 복원력 기반 방식은 서로 대체 방법이 아닌 보호 대상 장비의 임무 특성에 따라 적용해야 하며 복원력 기반 방식을 적용하는 경우에도 일정 수준 이상의 보호 대책을 적용하는 것이 필요하다.

복원력 기반 접근 방식을 시스템이나 시설에 체계적으로 적용하려면 개념 모델과 고려해야 할 속성을 설명하는 프레임워크가 필요하다. 상호 의존성이 HEMP 위협으로부터의 복원력에서 지배적인 요소라는 점을 감안할 때, HEMP 및 IEMI 위협은 오늘날의 사이버 보안 위협, 특히 파괴적인 컴퓨터 네트워크 공격과 같은 정보, 기능 및 서비스 가용성에 대한 위협인 사이버 보안 위협과 더 공통점이 있다고 가정한다. 이를 위해 사이버 위협에 대해 개발된 기존의 권위 있고 동료 검토된 원칙과 관행을 활용하려는 노력의 일환으로 미국 국립표준연구소(National Institute of Standards and Technology)의 사이버 보안 프레임워크^{[16][17]}에



[그림 1-9] 고출력 과도현상 위협에 방호 방법: 보호 중심 방법과 복원력 기반 방법^[15]

〈표 1-5〉 복원력 기반 접근 방법의 적절한 적용¹⁵⁾

수용 가능한 응답 및 복구 시간	주 (Weeks)	일 (Days)	시 (Hours)	분 (Minutes)	초/지속(Seconds/ Work-through)
전자파 방해 저감 방법	복원력 기반 방법	복원력 기반 방법	복원력 기반 방법	복원력 기반 방식 에는 몇 가지 이점 이 있지만 보호가 중요한 고려사항임	마진과 중복성이 지배적 인 보호
보호 기술에 의존	매우 낮음	낮음 - 예비 부품 을 쉽게 구할 수 없 는 경우 손상으로 부터 보호	보통 - 손상으로부 터 보호	높음 - 손상으로부 터 보호 일부 중단 은 허용 가능	매우 높음 - 보호 마진 으로 손상 및 중단으로 부터 보호
탐지의 적용 가능성	최초 대응자 관리를 통해 이점을 제공	최초 대응자 관리를 통해 이점을 제공	최초 대응자 관리를 통해 이점을 제공	최초 대응자 관리를 통해 이점을 제공	제한된 이점 제공
복구를 위한 최초 대응자에 대한 의 존도	낮음	보통 - 초기 대응 자는 자체적인 완 화 조치가 필요할 수 있음	높음 - 초기 대응 자는 자체적인 완 화 조치가 필요할 수 있음	높음 - 초기 대응 자는 자체적인 완 화 조치가 필요할 것임	낮음

설명된 가장 이해하기 쉽고 접근 가능한 사이버 보안 접근 방식을 제안한다. 프레임워크는 5단계, 즉 식별, 보호, 감지, 응답, 그리고 복구로 구성된다. 식별 기능은 사람, 자산(시스템 포함), 데이터 및 기능의 위험 관리에 대한 조직의 이해를 촉진한다. (표 1-5)에서와 같이 방호 대상 장비의 수용 가능한 응답 또는 복구 시간에 따라 적절한 대책을 적용하는 것이 비용 효율적이다. 보호 기능은 주요 서비스의 안정적인 제공을 보장하기 위한 적절한 보호 장치를 설명한다. 감지 기능은 전자파 위협 이벤트의 발생을 식별하기 위한 적절한 활동을 정의한다. 응답 기능에는 감지된 사건에 대해 조치를 취하기 위한 적절한 활동이 포함된다. 복구 기능은 복구 계획을 유지하고 손상된 기능이나 서비스를 복원하기 위한 적절한 활동을 식별한다. 복구 기능은 사고로 인한 영향을 줄이기 위해 정상적인 작업으로의 적시 복구를 지원한다.

제5절 결론

인공지능과 빅데이터 기술, 그리고 5G를 포함한 고속 광대역 무선서비스의 급속한 발전을 기반으로 우리 사회 시스템의 자동화 및 지능화는 가속화되고 있다. 이러한 기술적 변화에 근거하여 전력, 통신, 운송 및 금융 등 국가 기반시설을 포함한 대부분의 주요 시설들이 ICT 기술에 대한 의존도가 높아지고 있다. 첨단 기기나 시스템은 다양한 형태의 전자파에 대한 영향을 받을 가능성이 높아질 수 있으며, 특히 테러 등의 목적으로 의도적으로 발생된 고출력 전자파 위협에 매우 취약할 수 있다. 이러한 환경에서 주요 시설에 대한 핵/비핵 고출력 전자파 위협이나 공격을 받았을 때 그 사회적 영향이 커져 고출력 전자파 위협으로부터 주요 기기와 시스템 보호에 관한 관심과 필요성이 높아지고, 이에 따라서 고출력 전자파 위협으로부터 기기와 시스템을 보호하기 위한 방호성능 평가에 관련 표준에 관한 관심이 높아지고 활동도 많아지고 있다.

군용 장비에 대해서는 고출력 전자파 관련 미국 군용 표준이 적용되고 있으며, 민간 장비나 시스템에 적용하기 위해서 IEC TC77 산하 SC77C에서 고출력 전자파 관련 표준을 제정하고 유지관리하고 있다. 또한 IEC SC77C에서 제정한 표준을 근거로 ITU-T, IEEE, CIGRE 등에서 고출력 전자파 관련 표준이 일부 제정되고 있는 실정이다. 본 문서에서는 IEC TC77 SC77C에서 제공하고 있는 고출력 전자파 관련 국제 표준 현황과 현재 진행 중인 표준화 동향에 대해 소개하였다.

최근 국내에서는 북한의 핵실험 재개 가능성이 커지고 국제적으로는 우크라이나 전쟁에서 핵을 포함한 비대칭 무기들이 사용 가능성이 커지는 등 다양한 고출력 발생원을 활용한 다양한 위협이 여전히 존재하고 있어, 고출력 과도현상에 대한 관심과 우려가 고조되고 있다. 이러한 상황에서는 안전하고 지속 가능한 국가 및 사회 시스템을 유지하기 위해 고출력 전자파 방호 관련 연구개발을 계속해서 추진하고, 이를 통해 국제 표준화에도 기여할 수 있도록 노력해야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 권중화, “고출력 전자파 표준화 현황 및 동향”, 한국전자파학회 전자파기술 (電磁波技術), 제33권 5호, pp. 3-14, 2022. 9.
- [2] 권중화, “IEC TC77 SC77C 고출력 전자파 표준 현황 및 동향”, 한국전자파학회 전자파기술 (電磁波技術), 제31권 2호, pp. 68-76, 2020. 3.
- [3] 권중화, “고고도 핵 전자파 펄스에 대한 통신 센터 내성 요구규격”, 한국정보통신기술협회, TTA Journal, 제206호, pp. 104-110, 2023. 3.
- [4] Report of the Commission to Assess the Threat to the United States from Electromagnetic Pulse (EMP) Attack, April 2008
- [5] Mil Std. 464C: 2010-12 – Electromagnetic Environmental Effects Requirements for Systems
- [6] IEC/TR 61000-1-3, Ed.1.0, “Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 1-3: General – The effects of high-altitude EMP (HEMP) on civil equipment and systems,” 2002.6.
- [7] IEC/TR 61000-1-5, Ed.1.0, “Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 1-5: General – High power electromagnetic (HPERM) effects on civil systems,” 2004.11.
- [8] IEC 61000-6-6, Ed.1.0, “Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-6: Generic standards – HEMP immunity for indoor equipment,” 2003.4.
- [9] IEC Website, <https://www.iec.ch>
- [10] IEC TC77 SC77C Website, https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:7:503561884995448:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1387,25
- [11] IEC 61000-2-9, Ed.1.0, “Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 9: Description of HEMP environment – Radiated disturbance. Basic EMC publication,” 1996.2.
- [12] 77C/327/CD, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-9: Environment – Description of HEMP environment – Radiated disturbance, Basic EMC publication, 2023.5.19
- [13] IEC 61000-4-23, Ed.2.0, “Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-23: Testing

- and measurement techniques - Test methods for protective devices for HEMP and other radiated disturbances,” 2016.10.
- [14] IEC 61000-5-6, Ed.1.0, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 5-6: Installation and mitigation guidelines - Mitigation of external EM influences, 2002.6
- [15] 77C/326/CDV, Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 5-6: Installation and mitigation guidelines - Mitigation of external EM influences, 2023.5.26
- [16] NIST, “Cyber Security Framework,” <https://doi.org/10.6028/NIST.CSWP.04162018>
- [17] NIST, “NIST Cyber Security Framework - Core Elements,” <https://www.nist.gov/cyberframework>

마무리 글

현재 지능정보사회는 5G·6G 이동통신을 포함한 차세대 무선통신, 인공지능, 로봇 등 다양한 ICT 기술이 전기·전자 산업과 융합되어 사물인터넷, 자율주행 자동차 등 전산업 분야로 확산되고 있다.

5G 이동통신 기술은 초고속 이동통신망 구현을 위하여 4.7 GHz와 28 GHz 밀리미터파 주파수 대역을 활용한 이음5G 서비스로 확대되고 있으며 다가올 6G 이동통신은 Sub-THz의 더 높은 주파수 대역을 사용하기 위해 연구개발이 추진 중이다.

아울러 모든 기기를 네트워크로 연결하는 사물인터넷(IoT) 분야, 자율주행 자동차나 실시간 로봇제어와 같은 실시간 제어 분야에 대한 서비스도 상용화에 박차를 가하고 있다. 특히, 우리나라는 이음5G 서비스를 지속 확대 추진함으로써 5G 기술에 대한 상용화 및 실증사례를 개발하기 위해 노력이 지속되고 있다.

또한, 전자파로 전력을 공급하는 무선전력전송 기술은 정보통신기기, 가전기기, 전기자동차, 전기철도 등에 적용되어 관련 응용기술 개발이 활발히 추진 중이다. 특히, 전기자동차에 적용되는 무선충전기술에 대한 정부의 규제완화 정책에 따라 상용화가 본격적으로 추진되면서 산업과 실생활에 적용될 예정이다.

이렇듯 전파는 전기, 가전, 방송, 정보통신 등의 산업 분야에서부터 의료, 자율주행 자동차, 인공지능, 사물인터넷 등의 첨단 산업 분야까지 모든 산업 분야에서 응용되면서 제4차 산업혁명의 기반 기술의 역할을 담당하고 있다. 이러한 전파기술과 전기

전자기기의 융합·지능화에 따라 전기·전자 기기로부터 발생하는 비의도적 전자파도 함께 증가하고 있으며, 이러한 비의도적 전자파로 인한 인체에 영향을 주는 것뿐만 아니라 기기 및 통신 서비스의 오동작 및 성능 저하를 일으킬 가능성 또한 커지고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 전기·전자 기기 및 무선통신 기기로부터의 인체 안전을 확보하고 기기간의 영향을 최소화하면서 공존할 수 있도록 하는 전자파인체보호(EMF) 및 전자파적합성(EMC)에 대한 인증 및 대책 기술이 필수적으로 요구되고 있다.

아울러 단일 제품에만 요구되던 전자파 인증이 철도나 생산설비와 같이 대형 또는 고정형 시스템으로 적용 범위가 점차 확대되는 등 전자파 안전관리의 필요성도 점차 증가하고 있다.

이렇게 전자파 영향을 평가하고 적절히 통제하기 위한 표준의 중요성이 날로 부각됨에 따라 과학기술 정보통신부 국립전파연구원에서는 전자파인체보호 위원회와 EMC 기준전문위원회를 운영하고 있다.

전자파인체보호위원회는 국내 전자파인체보호 표준화 및 IEC TC106 국제표준화 활동을 통하여 휴대전화, 기지국 등 무선통신기기 및 생활가전, 전기자동차 및 무선전력전송 기술 적용 기기 등 신기술 관련 전자파 인체노출량 평가 표준 개발 등을 수행하고 있다.

표준협력 위원회는 IEC TC106 등 국제표준화에 대한 대응과 특별 위원회에서 개발된 국가표준(안)에 대한 최종 검토가 이루어졌다. 올해는 코로나19

종식으로 IEC TC106 국제회의가 대면으로 개최되었다. 국내 전문위원들은 국내의 휴대전화와 가전제품 및 무선전력전송 관련 연구 내용이 국제표준(안)에 포함되도록 대응하였으며, 국내 측정방법 마련을 위한 전기자동차 무선충전설비의 전자파인체노출량 측정방법과 전자파인체노출 환경의 현장측정방법에 대한 국가표준을 재·개정하였다.

정책제도 위원회는 국내 전자파인체보호 관련 정책, 제도, 인증평가방법 수립을 위한 논의와 제반 활동을 수행하였으며, WHO, ICNIRP, GLORE 등 전자파인체보호 분야의 국제회의에 주로 대응하였다. 전자파 인체보호와 정책, 제도 개선과 관련되어 논의한 내용으로는 ICNIRP Guideline 개정에 따른 국내 전자파인체보호기준 개정 방향 및 개정 내용을 검토하 국내 고시 개정에 반영할 예정이다.

무선국 위원회에서는 이동통신 기지국에 대한 전자파 강도 평가방법 및 측정방법을 검토하고 우리나라의 5G 무선국의 전자파강도 측정방법을 IEC TC106 MT3(무선국 전자파 인체노출량 측정방법)에 제안 및 기고하였다. 특히, 3.5 GHz 대역 5G 이동통신은 '19년도에 대비하여 사용 가입자 수가 급격히 증가하고 사용 환경에도 많은 변화가 발생하여 이를 고려한 분석하고 실제 운영환경을 고려한 검증을 추진하였다.

휴대기기 위원회에서는 휴대기기의 전자파흡수율 및 전력밀도 등 전자파인체노출량 측정방법 개선방향을 검토하였다. 특히, 휴대기기의 전자파흡수율 측정관련 국제표준인 IEC 62209-1528의 머리 및 몸통 평가 통합문서가 발표됨에 따라 국내 전자파흡수율 측정기준 고시 개정이 필요하며 이에 대한 검토를 추진 중이다. 또한, 휴대기기의 전자파흡수율 측정기준 및 몸통 측정 이격거리에 대하여 제조사 및 관련 전문가들과 함께 연구 및 논의를 추진하였다.

EMF측정지침위원회는 전자파흡수율 및 전자파강도와

관련한 고시에서 다루지 못하는 세부 측정방법을 제시하고 있다. 올해에는 전 인체 근접 무선통신기기의 SAR 국가표준(안)(IEC/IEEE 62209-1528)이 향후 도입될 경우 시험 혼란을 최소화하기 위해 전파시험 인증기관 의견수렴 및 검토를 추진하였다.

EMF용어사전편찬위원회는 공학 용어와 의학 용어로 기술되어 있는 전자파 인체보호 및 인체영향 관련 정보 및 제도를 이해하기 위하여 공학과 의학 분야의 용어를 조사하고 검토한다. 신규 용어 조사와 기존 '09년도, '15년도 용어를 수합 및 검토한 바 있으며 기존 용어와 신규 용어의 최근 사용 빈도 및 활용도를 검토하여 중복성을 고려하고 표준용어, 용어정의, 용어해설 파트로 구분하여 정리를 추진하였으며 '24년에 새로운 EMF 용어사전을 편찬할 예정이다.

WPT-EV 위원회에서는 전기 자동차 및 무선전력 전송기술의 보급이 급속도로 확대됨에 따라 전기자동차 및 무선전력전송위원회를 통합하여 운영하였고, 올해에는 전기자동차의 무선충전시스템의 규제 샌드박스 제도가 추진됨에 따라 전기자동차의 85 kHz 무선충전시스템의 전자파인체노출량 평가방법을 검토하였고, 전문가들의 의견을 반영하여 국가표준 KS C 3380 개정안을 마련하였다.

생활속 전자파 위원회에서는 「생활속 전자파」 홈페이지를 통해 접수된 생활제품 및 공간 전자파 측정신청에 대해 중복성 및 대표성 등을 고려하여 상반기/하반기 측정대상을 선정하였으며 전자파 흡수율 및 전자파 강도를 측정하고 측정결과를 검토하여 홈페이지 및 보도자료 등을 통해 국민들에게 공개하였다.

전자파적합성에 대한 국제표준을 추진하는 기관은 크게 국제전기기술위원회(IEC) 산하 국제무선장해 특별위원회(CISPR) 및 77기술위원회(TC77), 국제전기통신연합(ITU-T SG5) 등에서 담당하고 있다. IEC CISPR는 전자파적합성 분야의 대표적인 국제

기구이다. 매년 정기적으로 표준화 회의를 개최하여 일반 및 제품군별 표준을 제·개정하고 있으며, 이 표준들은 다수의 국가와 지역별 표준기구들에서 기준으로 준용되고 있다. ITU-T SG5에서는 정보 통신망 시스템과 연계된 환경으로부터의 전자파적합성, 휴대전화 등 통신 장치 및 설비에 의해 발생하는 전자파에 대한 평가, 저감, 인체 보호 등을 연구하고 있다.

CISPR는 기본규격(A), 전기 및 ISM기기(B), 자동차 및 전장품(D), 가전 및 조명기기(F), 무선서비스 간섭(H), 정보 멀티미디어기기(I) 6개의 소위원회와 운영위원회로 구성되어 있다. 각 소위원회는 공통으로 적용되는 측정 장치와 측정 방법에 대한 기본표준, 제품별 측정 방법 및 기준, 무선서비스 보호를 위한 허용기준을 제·개정한다. 운영위원회는 CISPR 전략 정책 승인 및 분과위원회별 연구 조정 등의 역할을 수행한다. TC 77 기술위원회는 저주파수 관련 내성을 담당하는 SC77A 분과와 고주파수 관련 내성을 담당하는 SC77B 분과, 고출력 전자기파 내성을 담당하는 SC77C 분과로 구성되었으며 내성 공통 규격과 내성 항목별 시험방법에 대한 규격을 제·개정하고 있다.

IEC CISPR는 매년 국제회의를 통하여 각 국가의 규격에 대한 정보를 공유하고 의견을 제시할 수 있도록 하고 있다. 2023년도 CISPR 총회는 11월 16일부터 11월 17일 전자회의로 개최되었고, 산하 기술위원회 CISPR A 회의는 9월 25일부터 9월 29일 영국 런던에서 개최되었고, CISPR D, ISO TC22 SC32 WG3 회의는 6월 5일부터 6월 15일 스페인 말라가에서 개최되었고, CISPR B, CISPR F, CISPR H, CISPR I 회의는 11월 7일부터 11월 14일 전자회의로 개최되었고, 우리나라를 비롯하여 아시아, 유럽, 미주 등 여러 나라의 약 200여명의 전문가들이 참석하여 열띤 논의를 진행하였다.

이번 EMC 표준화 동향보고서에서는 2023년에 논의된 국제 EMC 표준화 회의 내용 및 표준 문서를 중점적으로 다루었다. 우리나라는 18 ㎐ 이상 대역의 전자파 시험장 검증방법 개발을 위한 기존 방식(18 ㎐ 이하) 적용시 검증 방법 결과에 영향을 미치는 요인(수신 안테나 빔폭, 측정 주파수 스텝 등)에 관한 연구결과, 1 ~ 18 ㎐ 대역의 시간영역 전자파 시험장 검증 방법(TD-VSWR), 1 ㎐ 이상 안테나 교정방법(C-RTM) 표준화 추진 대응, CISPR11(I.S.M기기에 대한 EMC 측정방법) 개정, CISPR37(전자파 현장 측정방법) 제정, CISPR32(멀티미디어 기기 전자파 장애 시험 방법) 9 ㎐ ~ 30 ㎐ 대역의 WPT 방사 측정방법 논의, V2X 전장품 내성 측정방법이 기술보고서, ISO 11452-11 전장품 잔향실 전자파내성 측정방법 제안 등에 대한 표준화 활동을 전개하였고, 5G 등 무선서비스 보호를 위한 6 ~ 40 ㎐ 대역의 방사성 방해 허용기준, 시험방법, 시험장 평가법 등에 대한 국제표준화 프로젝트 현황 및 작업반 동향을 파악하여 국제표준 대응 방안을 마련하였다.

앞으로도 4차 산업혁명을 실현하기 위해 전파 및 ICT 기술이 모든 산업 분야의 전기 전자기기와 융합될 것이다. 따라서 안전한 전파 이용을 보장하기 위해서는 기기 및 시스템의 전자파적합성을 확보할 수 있도록 지속적으로 관리하여야 하고 전자파 안전관리가 주요 설비 및 시스템으로 확대될 수 있도록 제도기반이 확대되어야 한다. 이를 위해서는 다양한 분야의 산·학·연 전문가들의 지속적인 노력이 필요하며, EMC 기술발전 및 표준화 대응을 위하여 적극적인 연구수행과 활발한 표준화 활동이 수반되어야 할 것이다.

이 동향보고서가 우리나라 산업체와 EMF 및 EMC 관련 전문가에게 조금이나마 도움이 되길 바란다. 끝.

편집위원

안영환(아주대학교), 김혜선(아주대학교)
변진규(숭실대학교), 최형도(한국전자통신연구원), 백정기(충남대학교)
장건호(한국전자통신협회), 김우영(국립전파연구원)
권혁준(삼성전자)
허윤정(에이치시티)
전양배(한국과학기술원)
방진규(한국해양과학기술원)
주영준(이레테크), 홍영표(한국표준과학연구원)
오택규(한국정보통신기술협회)
임영철(한국전자통신협회)
김정환(교정기술원), 이성규(엘지전자)
안중선(엘에스일렉트릭)
나완수(성균관대학교), 김원진(원제뉴인)
성관영(한국화학융합시험연구원)
권중화(한국전자통신연구원)
김근술(한국로봇산업진흥원)
금홍식(이앤알)
권중화(한국전자통신연구원), 황창희(한국전자통신연구원)

편 집

김우영 주무관(과학기술정보통신부 국립전파연구원)
심용섭 연구사(과학기술정보통신부 국립전파연구원)
유병규 주무관(과학기술정보통신부 국립전파연구원)
장건호 선임(한국전자통신협회 전자파기술원)

전자파(EMF, EMC, EMP) 표준화 동향 보고서



과학기술정보통신부
국립전파연구원

58323 전남 나주시 빛가람로 767

발 행 일 : 2023. 12

발 행 인 : 서성일

발 행 처 : 과학기술정보통신부 국립전파연구원

전 화 : 061) 338-4567

인 쇄 : 경성문화사 02) 786-2999

I S B N : 979-11-5820-243-9 <비 매 품>



주 의

1. 이 연구보고서는 국립전파연구원에서 수행한 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 국립전파연구원 연구결과임을 밝혀야 합니다.



2023년도 전자파(EMC, EMF, EMP) 표준화 동향보고서

